

## Relatório Final do projeto

# CONTRIBUIÇÕES DO COBRE AO COMBATE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

---

### ESTIMATIVAS PARA PAÍSES DA AMÉRICA LATINA

***Equipe da International Energy Initiative (IEI)***

***Coordenador prof. Dr. Gilberto M. Jannuzzi***

***Consultor técnico Dr. Conrado A. Melo***

***Preparado para International Copper Association (ICA)***

***e Procobre – Instituto Brasileiro do Cobre***

## Sumário

---

1. Sumário Executivo .....	5
2. Introdução .....	8
3. Objetivo.....	9
4. Metodologia .....	10
4.1. Tecnologias de uso final .....	10
4.2. Tecnologias de geração renovável.....	11
5. Eficiência Energética e Conteúdo de Cobre das Tecnologias Avaliadas.....	13
5.1. Motores elétricos .....	13
5.2. Transformadores de distribuição .....	14
5.3. Refrigeradores.....	17
5.4. Condicionadores de ar.....	18
5.5. Energias renováveis .....	18
5.6. Aquecedores solares de água .....	19
6. Resultados .....	20
7. Conclusões .....	23
8. Referências.....	25
9. Anexo 1 - Matriz Elétrica e Emissões dos Países Selecionados .....	26
9.1. Brasil.....	26
9.2. México .....	26
9.3. Peru .....	27
9.4. Chile .....	28
9.5. Argentina .....	28
9.6. Colômbia .....	29
9.7. Fator de emissão dos sistemas elétricos nacionais.....	30
10. Anexo 2 – Parâmetros Utilizados nas Estimativas das Contribuições dos Programas ICA LA.....	31
11. Anexo 3 – Estimativas das Contribuições dos Programas ICA LA .....	33
11.1. Motores elétricos .....	33
11.2. Refrigeradores.....	33
11.3. Condicionadores de ar .....	34
11.4. Aquecimento solar de água.....	34
11.5. Transformadores de distribuição .....	35

## Lista de Tabelas

---

Tabela 1– Escopo do projeto: equipamentos, países e tipos de estudo.....	9
Tabela 2– Relação entre o uso de cobre e a eficiência de motores elétricos de indução de 22kW .....	14
Tabela 3– Mercado de motores elétricos no Brasil e no México .....	14
Tabela 4- Distribuição dos transformadores monofásicos por potência no ano de 2007 no Brasil.....	14
Tabela 5- Distribuição dos transformadores trifásicos por potência no ano de 2007 no Brasil .....	15
Tabela 6– Parâmetros europeus de perdas e uso de cobre em transformadores de distribuição .....	15
Tabela 7– Relação entre o uso de cobre e a eficiência de transformadores de distribuição .....	16
Tabela 8- Incremento de cobre em transformadores monofásicos 15kV para redução de perdas em 20% .....	17
Tabela 9- Incremento de cobre em transformadores trifásicos para redução de perdas em 20% .....	17
Tabela 10– Uso adicional de Cobre por componente em um refrigerador de 480 litros	18
Tabela 11– Uso adicional de cobre por capacidade instalada de fontes renováveis de geração .....	19
Tabela 12 - Capacidade instalada de fontes renováveis de geração .....	19
Tabela 13– Coeficientes técnicos de mitigação de CO <sub>2</sub> por equipamento .....	20
Tabela 14– Coeficientes técnicos de mitigação de CO <sub>2</sub> por kg de cobre adicional .....	20
Tabela 15 – Coeficientes técnicos de mitigação de CO <sub>2</sub> : tecnologias de geração renovável.....	21
Tabela 16 – Resultados de mitigação de CO <sub>2</sub> : tecnologias de uso final de energia.....	21
Tabela 17– Resultados de mitigação anual de CO <sub>2</sub> do programa de geração renovável: milhões de toneladas.....	22
Tabela 18– Premissas de abrangência dos programas: Motores Elétricos Trifásicos...	31
Tabela 19– Premissas de abrangência dos programas: Transformadores de Distribuição.....	31
Tabela 20– Premissas de abrangência dos programas: Refrigeradores.....	31
Tabela 21– Premissas de abrangência dos programas: Ar Condicionado .....	32
Tabela 22 – Premissas de abrangência dos programas: Aquecedor Solar .....	32
Tabela 23– Resultados de mitigação de CO <sub>2</sub> do programa de motores elétricos: milhões de toneladas.....	33
Tabela 24– Resultados de mitigação de CO <sub>2</sub> do programa de refrigeradores: milhões de toneladas .....	34
Tabela 25– Resultados de mitigação de CO <sub>2</sub> do programa de ap. de ar condicionado: milhões de toneladas.....	34
Tabela 26– Resultados de mitigação de CO <sub>2</sub> do programa de aquecedores solares: milhões de toneladas.....	35
Tabela 27– Estimativas para transformadores de distribuição: estudo de potencial .....	35

## Lista de Figuras

---

Figura 1– Curvas de redução de perdas em função do incremento de cobre em transformadores .....	16
Figura 2– Brasil: Oferta interna de energia elétrica por fonte - 2009 .....	27
Figura 3– México: Oferta interna de energia elétrica por fonte – 2009 .....	27
Figura 4– Peru - Oferta interna de energia elétrica por fonte – 2009 .....	28
Figura 5– Chile - Oferta interna de energia elétrica por fonte – 2009 .....	29
Figura 6 – Argentina: Oferta interna de energia elétrica por fonte - 2009 .....	29
Figura 7– Colômbia: Oferta interna de energia elétrica por fonte – 2009 .....	30
Figura 8– Fator médio de emissões de CO <sub>2</sub> do sistema elétrico: 2000 – 2009 .....	30

## 1. Sumário Executivo

---

Este trabalho tem o objetivo estimar a contribuição do incremento do uso de cobre em equipamentos elétricos e geração de energia na redução de emissões de CO<sub>2</sub>. Isso foi feito a partir da introdução de equipamentos mais eficientes no uso de eletricidade, aquecedores solares de água e na participação de fontes renováveis na geração de eletricidade em países da América Latina<sup>1</sup>. Esses dois componentes representam tecnologias que possuem maior conteúdo de cobre quando comparados com as tecnologias convencionais que substituem. A análise compreendeu períodos distintos conforme o início de atividades de fomento a difusão das tecnologias avaliadas, as quais de um modo geral ocorreram a partir de 2005. No entanto, os resultados são apresentados em termos anuais.

As estimativas foram feitas a partir de indicadores da relação entre o conteúdo de cobre e a eficiência energética de equipamentos. Para o caso de fontes renováveis foram utilizados fatores relacionando o conteúdo de cobre das tecnologias selecionadas por unidade de capacidade. As estimativas de redução de emissões com a introdução dessas tecnologias foram baseadas em informações sobre vendas de equipamentos eficientes e nas características do sistema elétrico de cada país. A metodologia e premissas utilizadas estão explanadas nos capítulos 4 e 5 e Anexos 1 e 2.

A Tabela A mostra as diferentes contribuições de cada kg adicional de cobre em equipamentos elétricos mais eficientes, aquecedores solares e geração renovável introduzidos nos países analisados. Como é esperado, em países com maior participação de geração térmica baseada em fontes de origem fóssil possuem indicadores mais expressivos relativos aos impactos de mitigação. Este é o caso do México, Argentina, e Chile. Os motores elétricos são aqueles que mais reduzem emissões por unidade, seguidos pelos refrigeradores e ar condicionados.

---

<sup>1</sup> Argentina, Brasil, Chile, Colômbia, México e Peru.

**Tabela A – Coeficientes técnicos de mitigação de CO<sub>2</sub> por kg de cobre adicional**

País	Motores Elétricos	Refrigeradores	Ar Condicionado	Aquecedor Solar	Eólica	PCHs	Biomassa	Solar FV
Ton de CO <sub>2</sub> /kg de cobre adicional/ano								
Argentina	0,491	0,128	0,099	-	0,224	0,798	1,166	0,048
Brasil	0,126	0,033	0,025	0,004	0,057	0,202	0,295	0,012
Chile	0,471	0,123	0,095	0,033	0,23	0,819	1,198	-
Colômbia	0,221	0,058	0,044	-	0,097	0,347	0,507	0,021
México	0,614	0,207	0,159	0,033	0,36	1,282	1,874	0,077
Peru	0,281	0,073	0,056	0,033	0,135	0,48	0,702	0,029

Para cada equipamento as reduções de emissões associadas são mostradas na Tabela B. A introdução de cada motor eficiente no México reduz anualmente 412 kg de CO<sub>2</sub> enquanto que no Brasil esse fator é de 82 kg de CO<sub>2</sub>. É possível verificar que por unidade de equipamento os aquecedores solares de água são aqueles que mais contribuem para as reduções de emissões nos países que, segundo as premissas utilizadas, usam gás natural nos sistemas de aquecimento doméstico de água.

**Tabela B – Coeficientes técnicos de mitigação de CO<sub>2</sub> por equipamento**

País	Motores Elétricos	Refrigeradores	Ar Condicionado	Aquecedor Solar <sup>1</sup>
Ton de CO <sub>2</sub> /equipamento/ano				
Argentina	0,31959	0,04867	0,07699	0,66759
Brasil	0,08194	0,01248	0,01974	0,07147
Chile	0,30717	0,04678	0,07399	0,66759
Colômbia	0,14366	0,02188	0,03461	0,66759
México	0,41248	0,07852	0,12420	0,66759
Peru	0,18290	0,02785	0,04406	0,66759

<sup>1</sup> No caso do Brasil os aquecedores solares substituem chuveiros elétricos e nos demais casos foi assumido que essa tecnologia substitui a queima direta de gás natural.

As economias totais anuais de energia elétrica nos países e equipamentos analisados são apresentadas na Tabela C. O Brasil é o país onde a difusão de tecnologias eficientes proporciona as maiores quantidades de conservação de eletricidade (cerca de 2 TWh/ano) com destaque para a penetração de motores elétricos eficientes que contabiliza anualmente 1,2 TWh de energia economizada. No caso das tecnologias de aquecimento solar de água o México representa anualmente um total de 16,8 mil toneladas de Gás natural economizadas.

**Tabela C– Resultados anuais de conservação de energia**

País	Motores Elétricos	Refrigeradores	Ar Condicionado	Aquecedor Solar
	GWh/ano	GWh/ano	GWh/ano	
<b>Argentina</b>	16,2	59,4	26,0	-
<b>Brasil</b>	1213,5	580,8	120,1	166,3 GWh/ano
<b>Chile</b>	11,7	16,2	6,6	2321,0 (Toneladas de GN)
<b>Colômbia</b>	29,4	42,6	8,8	-
<b>México</b>	723,2	374,9	68,9	16.885,0 (Toneladas de GN)
<b>Peru</b>	9,4	17,8	1,3	2.343,0 (Toneladas de GN)

A Tabela D mostra os resultados de mitigação anual das emissões de CO<sub>2</sub>. O México representa 72% da redução de CO<sub>2</sub> do total dos países analisados. Tanto no Brasil como no México, o equipamento mais importante foram os motores, seguidos pelos refrigeradores mais eficientes. No entanto, nos demais países a situação foi diferente, onde refrigeradores e aquecedores solares foram mais importantes, como no caso da Argentina, Chile e Peru.

**Tabela D– Resultados de mitigação de CO<sub>2</sub>: tecnologias de uso final de energia (tCO<sub>2</sub>/ano)**

País	Motores Elétricos	Refrigeradores	Ar Condicionado	Aquecedor Solar	Total
<b>Argentina</b>	5.983	21.901	9.585	-	<b>37.468</b>
<b>Brasil</b>	114.714	54.904	11.349	15.723	<b>196.690</b>
<b>Chile</b>	4.147	5.730	2.353	7.043	<b>19.273</b>
<b>Colômbia</b>	4.870	7.055	1.453	-	<b>13.379</b>
<b>México</b>	430.213	222.993	40.987	51.237	<b>745.430</b>
<b>Peru</b>	1.975	3.760	264	7.110	<b>13.110</b>
<b>Total</b>	<b>561.902</b>	<b>316.344</b>	<b>65.992</b>	<b>81.113</b>	<b>1.025.350</b>

A contribuição de fontes renováveis para a redução de emissões de CO<sub>2</sub> é ainda maior como pode ser vista na Tabela E. O Brasil, embora tenha um fator de emissão muito baixo quando comparado com os demais países, foi o que mais contribuiu devido a sua maior capacidade instalada. A geração a partir de biomassa é a principal fonte para contribuir na redução de emissões.

**Tabela E– Resultados de mitigação anual de CO<sub>2</sub> considerando geração renovável: (tCO<sub>2</sub>/ano)**

País	Eólica	PCH	Biomassa	Solar Fotovoltaica	Total
<b>Brasil</b>	232.165	1.633.169	3.417.274	2.126	5.284.735
<b>Argentina</b>	17.106	606.224	1.007.575	4.198	1.635.104
<b>Chile</b>	11.497	260.485	238.555	-	510.536
<b>México</b>	76.470	966.631	546.539	10.121	1.599.761
<b>Colômbia</b>	4.478	327.358	81.523	183	413.542
<b>Peru</b>	236	201.640	64.855	935	267.666
<b>Total</b>	<b>341.952</b>	<b>3.995.508</b>	<b>5.356.321</b>	<b>17.563</b>	<b>9.711.344</b>

## 2. Introdução

---

A inovação tecnológica de equipamentos e dispositivos elétricos tem apresentado melhorias significativas relacionadas aos ganhos de eficiência energética que, por sua vez, representam enormes potenciais de ganhos ambientais como a mitigação de Gases de Efeito Estufa (GEE). Essas inovações estão, em muitos casos, diretamente relacionadas à aplicação adicional de cobre. Por exemplo, no caso de motores elétricos os ganhos de desempenho energético com cada quilo adicional de cobre permite a redução de 3 toneladas de CO<sub>2e</sub><sup>2</sup> que seriam emitidas com o uso de equipamentos menos intensivos no uso do cobre. O balanço de emissões é muito positivo dado que na fase de produção desses dispositivos o uso adicional do cobre é responsável apenas por 3 kg de CO<sub>2e</sub> emitidos (Keulenaer *et al* 2006). Isso significa um fator de retorno de 1000 vezes em relação aos benefícios de mitigação que essas aplicações propiciam ao longo de sua vida útil Copper (2006). Adicionalmente destaca-se que o cobre ao final da vida útil desses equipamentos pode ser reciclado e utilizado em outras aplicações.

---

<sup>2</sup> Todos os gases estufa são convertidos em quantidades de CO<sub>2</sub> com contribuição equivalente para o aquecimento atmosférico. Desse modo, por exemplo, uma tonelada de metano (CH<sub>4</sub>), por possuir um efeito 21 vezes superior ao dióxido de carbono, equivale a 21 toneladas de CO<sub>2</sub>-equivalente.



### 3. Objetivo

---

O presente estudo tem por objetivo avaliar a contribuição do uso do cobre e concernermente aumento da eficiência energética no combate às mudanças climáticas. O estudo visa diagnosticar e contabilizar em países selecionados da América Latina os impactos de mitigação de CO<sub>2</sub>, que é o principal Gás de Efeito Estufa (GEE), devido: a) ao uso de tecnologias mais eficientes na fabricação de equipamentos elétricos; b) a utilização de aquecedores solares de água e; c) devido a geração de eletricidade a partir das seguintes fontes renováveis: energia eólica, biomassa, pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) e solar fotovoltaica. Além disso buscou-se avaliar os impactos potenciais no caso de melhorias nas reduções de perdas em transformadores de distribuição. A Tabela 1 mostra a lista de equipamentos avaliados, os países e o tipo de estudo realizado<sup>3</sup>.

**Tabela 1– Escopo do projeto: equipamentos, países e tipos de estudo.**

<b>Equipamentos</b>	<b>Países avaliados</b>	<b>Tipo de estudo</b>
Motores elétricos	Argentina, Brasil, Chile, Colômbia, México e Peru	Avaliação de impactos
Transformadores de distribuição	Brasil	Estudo de potencial
Refrigeradores	Brasil, Chile e México.	Avaliação de impactos
Condicionadores de ar	Brasil, Chile, Colômbia, México e Peru	Avaliação de impactos
Energias renováveis*	Argentina, Brasil, Chile, Colômbia, México e Peru.	Avaliação de impactos
Aquecedores solares de água	Brasil, Chile, México e Peru	Avaliação de impactos

Nota: (\*) Biomassa, energia eólica, energia solar fotovoltaica e PCHs.

---

<sup>3</sup> Adicionalmente foi também estimado a provável contribuição dos programas fomentados pelo ICA LA para as economias de energia e redução de emissões (V. Anexo 3, pag 25).

## 4. Metodologia

---

Para o desenvolvimento do trabalho foram realizadas duas etapas de análise descritas a seguir.

### *Etapa 1 – Análise de indicadores de eficiência energética e conteúdo de cobre*

Esta primeira etapa de análise tem por objetivo avaliar para cada equipamento a relação entre a eficiência energética e o conteúdo de cobre. O desenvolvimento desta etapa é baseado na revisão da literatura nacional e internacional. Esta literatura abrange relatórios científicos, estudos oficiais, artigos indexados e livros correlatos. Os detalhes dessa avaliação são mostrados no capítulo 5.

### *Etapa 2 – Contabilização dos impactos do incremento de uso do cobre*

Esta etapa visa estimar os impactos das vendas de novos equipamentos e o aumento de geração de eletricidade a partir de fontes renováveis em cada um dos países analisados. Para isso utilizou-se as informações obtidas na Etapa 1 e no estabelecimento de coeficientes técnicos de mitigação de emissões de CO<sub>2</sub> para cada tecnologia<sup>4</sup>, além de parâmetros específicos de mercado, conforme explicado a seguir. No caso do estudo de potencial, realizado para transformadores de distribuição, são quantificados potenciais de conservação de energia e respectiva mitigação de CO<sub>2</sub> em um cenário que contempla a completa difusão de transformadores eficientes no Brasil. São utilizados dois modelos para contabilização das emissões, sendo um referente às tecnologias de uso final e outro referente às tecnologias de geração renovável conforme descrito a seguir.

#### 4.1. Tecnologias de uso final

---

O modelo utilizado para contabilização em base anual da mitigação das emissões de CO<sub>2</sub> para cada tecnologia de uso final de energia avaliada é dado pela Equação 1.

$$Me = CTe * Pe * Vae(y) \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

---

<sup>4</sup> Esses dados estão apresentados no capítulo 5, páginas 15-17.

- **Me** é a mitigação anual de emissões de CO<sub>2</sub> que é proporcionada pela penetração da tecnologia **e** no estoque em uso no ano **y**;
- **Pe** é a participação de equipamentos eficientes nas vendas anuais;
- **Vae** é a venda no ano **y** da tecnologia **e**;
- **CTe** é o coeficiente técnico de mitigação de emissões anuais de CO<sub>2</sub> da tecnologia **e** dado pela Equação 2.

$$CTe = (Cep - Cee) * (1 + Pse) * Fme \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

- **Cep** é o consumo do equipamento padrão;
- **Cee** é o consumo do equipamento eficiente;
- **Pse** é o fator de perdas dos sistemas elétricos de geração de eletricidade de cada país avaliado e;
- **Fme** é o fator de emissões médio dos sistemas elétricos de cada país considerado.

Destaca-se que neste modelo, no caso de equipamentos elétricos, as emissões são contabilizadas na geração de eletricidade, logo são considerados os fatores de perdas dos sistemas elétricos de cada país considerado na análise. Apenas no caso da substituição de queima direta de gás por aquecedores solares de água as emissões são estimadas considerando o total de gás conservado multiplicado pelo fator de emissões do gás.

#### 4.2. Tecnologias de geração renovável

Analogamente também é realizada uma análise de mitigação das emissões de CO<sub>2</sub> para a geração renovável (eólica, PCHs, biomassa e solar fotovoltaica). Nesse caso o método utilizado compreende a comparação entre fontes de geração renovável em relação à expansão do sistema elétrico que ocorreria a partir de uma usina equivalente, que representa o mix de geração elétrica de cada país. Esse método é conservador no sentido de já considerar os efeitos da geração renovável nos fatores de emissão médios dos sistemas de geração de eletricidade dos países analisados. Caso a comparação fosse realizada diretamente com uma usina baseada em combustível fóssil (óleo combustível, gás natural, óleo Diesel, etc.), os impactos de mitigação seriam maiores.

As Equações 3 e 4 mostram o método utilizado na contabilização da mitigação das emissões de CO<sub>2</sub> no caso da geração renovável.

$$\mathbf{Mer = C_{lr} * CTg} \quad \mathbf{Equação 3}$$

Onde:

- **Mer** é a mitigação anual de emissões de CO<sub>2</sub> que é proporcionada pela capacidade instalada da tecnologia de geração renovável **r**;
- **C<sub>lr</sub>** é a capacidade instalada da tecnologia de geração **r**;
- **CTg** é o coeficiente técnico de mitigação de emissões anuais de CO<sub>2</sub> da tecnologia de geração **r** dado pela Equação 4.

$$\mathbf{CTg = FCr * 8,76 * Fme} \quad \mathbf{Equação 4}$$

Onde:

- **FCr** é o fator de capacidade da tecnologia de geração **r** e;
- **Fme** é o fator de emissões médio dos sistemas elétricos de cada país considerado.
- A constante 8,76 refere-se ao número de horas anuais dividido por mil.

## 5. Eficiência Energética e Conteúdo de Cobre das Tecnologias Avaliadas

---

### 5.1. Motores elétricos

---

Os motores elétricos são equipamentos amplamente utilizados no setor industrial. Alguns exemplos de usos são bombas para movimentação de líquidos, compressores e ventiladores para gases. A indústria têxtil possui máquinas dedicadas, tanto para fiação como tecelagem, de tecnologia secular. Os setores de cimento, papel e celulose, e químico, utilizam nos seus processos uma enorme quantidade de bombas, compressores e ventiladores, assim como grandes esteiras transportadoras, moinhos, agitadores, peneiras – onde há muitos motores de grande potência, mas com boa incidência de motores pequenos para os serviços auxiliares. Cerâmicas possuem grandes misturadores, sopradores e muitas esteiras transportadoras. Mineração, siderurgia e fabricação de metais em geral, além das bombas, compressores e ventiladores, têm também moinhos, transportadores em grande quantidade e máquinas específicas para atividades de laminação, por exemplo, para puxar, dobrar, e cortar (Garcia, 2003).

Segundo Keulenaer *et al* (2006) - que avalia os motores de indução de baixa tensão (22 kW) operando como sistemas para aplicações típicas, tais como bombeamento de água, ar comprimido e ventilação - as vantagens do aumento da eficiência energética desses equipamentos são muito significativas e refletem diretamente, por exemplo, na redução da emissões de aproximadamente 19 toneladas de CO<sub>2</sub><sup>5</sup> por motor ao longo de sua vida útil. Deve ser destacado que o balanço de emissões entre a produção do equipamento altamente eficiente e o que este permite mitigar ao longo de sua vida útil é da ordem de 1000 vezes, ou seja, a cada kg de CO<sub>2</sub> emitido para produzir o motor uma tonelada é deixada de ser emitida durante sua operação.

A Tabela 2 mostra a relação direta entre a eficiência de motores elétricos e o uso adicional de cobre segundo o trabalho de Keulenaer *et al* (2006) que avalia três tipos de motores operando nas mesmas condições. Neste caso, com o uso adicional de 5,1 kg de cobre o motor de alto rendimento consegue ser 4,1 pontos percentuais mais eficiente do que o motor padrão.

---

<sup>5</sup> Nesse caso foi considerado o fator de emissão médio para 15 países Europeus.

**Tabela 2– Relação entre o uso de cobre e a eficiência de motores elétricos de indução de 22kW**

Parâmetros	Rendimento Padrão	Alto Rendimento	Premium Alto Rendimento
Vida útil (anos)	20	20	20
Carga (%)	50	50	50
Eficiência (%)	89,5	91,8	92,6
Cobre (Kg)	8,8	12,9	13,9

Fonte: Keulenaer *et al* (2006)

A Tabela 3 mostra a participação no mercado de motores elétricos por potência nos caso do Brasil e do México.

**Tabela 3– Mercado de motores elétricos no Brasil e no México**

Faixas de Potencia	Participação no mercado - Brasil	Participação no mercado - México
1. Até 1cv (Carçaça 63 e acima)	33,77%	7,68%
2. Acima de 1 cv até 10 cv	50,92%	82,13%
3. Acima de 10 cv até 40 cv	11,47%	8,44%
4. Acima de 40 cv até 100 cv	2,73%	1,29%
5. Acima de 100 cv até 300 cv	0,99%	0,44%
6. Acima de 300 cv	0,12%	0,02%

Fonte: Garcia (2003)

## 5.2. Transformadores de distribuição

Transformadores de distribuição são projetados para elevar ou reduzir a tensão para atender necessidades específicas das redes elétricas. Contudo, a utilização desses equipamentos introduz perdas elétricas no sistema. Para exemplificar, essas perdas representam aproximadamente 30% das perdas totais do sistema elétrico de distribuição no Brasil CEPEL (2008). Segundo dados do CEPEL (2008) no ano de 2007, somente no Brasil o estoque de transformadores instalados era de 1,55 milhões de transformadores monofásicos e 1,10 milhões de transformadores trifásicos. A Tabela 4 e a Tabela 5 mostram a distribuição desses transformadores por potência no Sistema Elétrico de Distribuição Brasileiro.

**Tabela 4- Distribuição dos transformadores monofásicos por potência no ano de 2007 no Brasil**

	5 kVA	10 kVA	15 kVA	25 kVA	Outros	Total
Unidades	323.587	904.663	237.600	75.509	10.748	1.552.107
%	20,8%	58,3%	15,3%	4,9%	0,7%	100,0%

Fonte: CEPEL, 2008

**Tabela 5- Distribuição dos transformadores trifásicos por potência no ano de 2007 no Brasil**

	<b>15 kVA</b>	<b>30kVA</b>	<b>45 kVA</b>	<b>75 kVA</b>	<b>112,5 kVA</b>	<b>150 kVA</b>	<b>Outros</b>	<b>Total</b>
Unidades	175.878	231.614	256.125	233.604	113.007	54.717	39.250	1.104.195
%	15,8%	21,0%	23,2%	21,2%	10,2%	5,0%	3,6%	100,0%

Fonte: CEPEL, 2008

A utilização de transformadores eficientes reduz substancialmente as perdas de energia. Transformadores com alto rendimento operados de forma eficiente permitem ganhos em conservação de energia e conseqüentemente a redução de emissões de GEE. Segundo Keulenaer (2006) um transformador de distribuição de 100 KVA com alto rendimento, operando com um carregamento de 25%, permite a mitigação de aproximadamente 37 toneladas de CO<sub>2e</sub><sup>6</sup> em 30 anos de vida útil. A Tabela 6 mostra, segundo este autor, a relação direta entre as perdas nos transformadores e o uso adicional de cobre para três tipos de equipamentos.

**Tabela 6– Parâmetros europeus de perdas e uso de cobre em transformadores de distribuição**

<b>Parâmetros</b>	<b>AA'</b>	<b>CC'</b>	<b>C-Amorfo</b>
<b>Vida útil (anos)</b>	30	30	30
<b>Carga (%)</b>	25	25	25
<b>Perdas no cobre (kW)</b>	1,750	1,475	1,475
<b>Perdas no ferro (kW)</b>	0,32	0,21	0,06
<b>Cobre (Kg)</b>	85	115	155

Fonte: Keulenaer (2006)

Segundo dados de estudos desenvolvidos pelo LAT-EFEI - Laboratório de Alta Tensão da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) a adição de cobre em transformadores permite uma redução significativa das perdas nas redes elétricas de distribuição no Brasil. A Tabela 7 mostra, para transformadores de 30, 45 e 75 kVA, a diferença de perdas em termos de MWh/ano entre equipamentos padrão e de alto rendimento, denominados eficientes, utilizados no Brasil.

<sup>6</sup> Nesse caso foi considerado o fator de emissão médio para 15 países Europeus.

Tabela 7– Relação entre o uso de cobre e a eficiência de transformadores de distribuição

Transformador	Padrão (MWh/ano)	Eficiente (MWh/ano)	%
30 kVA	2,9558	2,1525	27,2%
45 kVA	3,6429	2,7105	25,6%
75 kVA	6,4560	4,7790	26,0%

A Figura 1 exemplifica a relação direta entre o incremento de massa de cobre e a redução das perdas técnicas nos transformadores de distribuição.

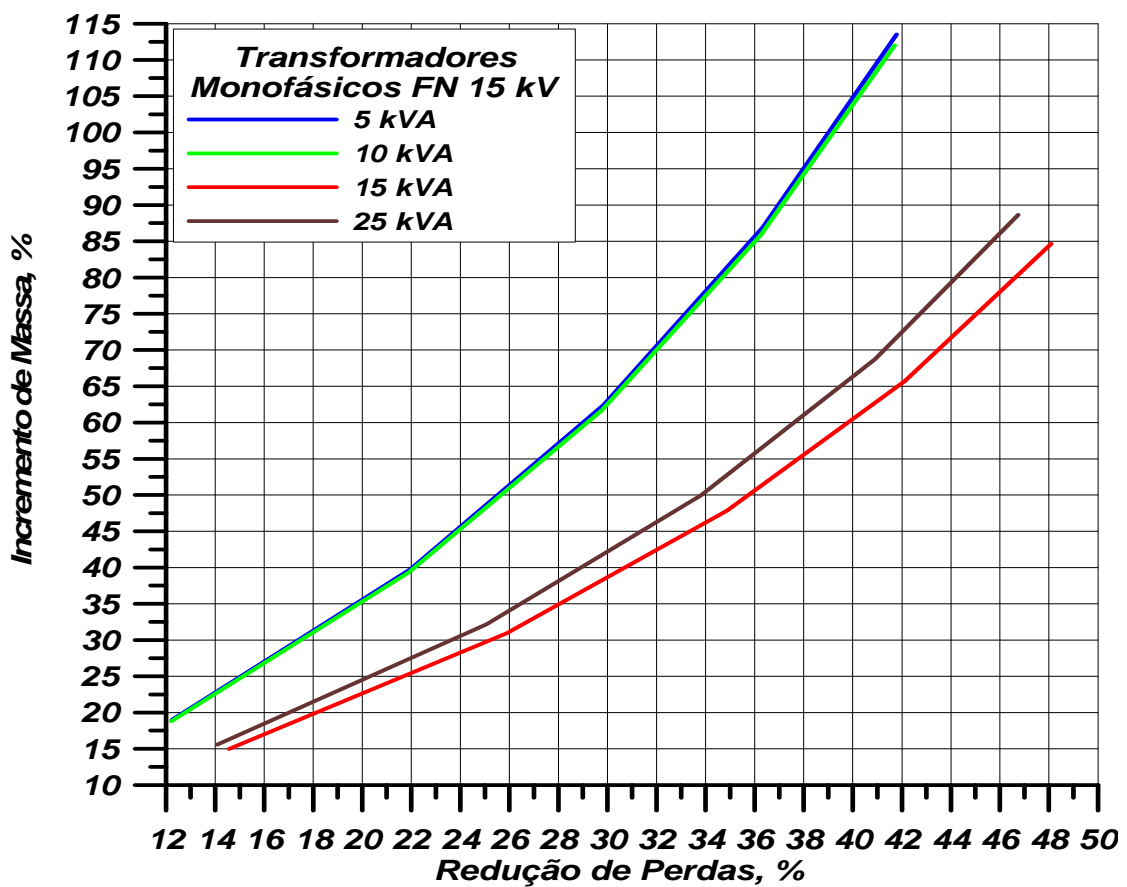


Figura 1– Curvas de redução de perdas em função do incremento de cobre em transformadores

Fonte: LAT-EFEI UNIFEI

A Tabela 8 e a Tabela 9 mostram o incremento de massa de cobre de transformadores monofásicos e trifásicos respectivamente por potência conforme estudo do LAT-EFEI UNIFEI. Neste caso o incremento de cobre foi calculado considerando uma redução de 20% das perdas totais.



**Tabela 8- Incremento de cobre em transformadores monofásicos 15kV para redução de perdas em 20%**

Potência	Massa Padrão (kg)	Redução Perdas (%)	Incremento Massa (%)	Incremento Massa (kg)
5 kVA	7,41	20	29,11	2,15
10 kVA	11,88	20	28,91	3,43
15 kVA	20,13	20	24,61	4,95
25 kVA	22,96	20	23,94	5,49

Fonte: LAT-EFEI – UNIFEI

**Tabela 9- Incremento de cobre em transformadores trifásicos (15kV) para redução de perdas em 20%**

Potência	Massa Padrão (kg)	Redução Perdas (%)	Incremento Massa (%)	Incremento Massa (kg)
15 kVA	23,68	20	18,72	4,43
30 kVA	27,63	20	21,92	6,05
45 kVA	35,10	20	16,72	5,86
75 kVA	49,75	20	17,81	8,86
112,5 kVA	67,08	20	24,67	16,55
150 kVA	66,64	20	20,27	13,50

Fonte: LAT-EFEI - UNIFEI

### 5.3. Refrigeradores

---

Refrigeradores altamente eficientes no uso da eletricidade são fabricados com maior aplicação de cobre em diversos de seus componentes. Os compressores são os componentes com uso mais intenso do cobre e a diferença de uso desse metal condutor em um equipamento eficiente pode ser superior a 20% em relação a um equipamento menos eficiente. A Tabela 10 mostra, para o caso de um equipamento padrão o uso adicional de cobre em cada um dos componentes de um refrigerador de 480 litros. Este equipamento que tem um aumento de 22% na sua eficiência energética utiliza 386,45g de cobre adicionais.

**Tabela 10– Uso adicional de Cobre por componente em um refrigerador de 480 litros**

Componente	Peso (g)	Eficiente + 22% (g)	Diferença (g)
Chicote	101,42	123,73	22,31
Tubo serviço compressor	25,80	31,48	5,68
Tubo serviço filtro secador	26,34	32,13	5,79
Filtro secador	76,12	92,87	16,75
Fio terra	18,32	22,35	4,03
Plast-plug	41,88	51,09	9,21
Evaporador (ponta linha de sucção + capilar)	166,72	203,40	36,68
Compressor	1.300,00	1.586,00	286,00
<b>Total</b>	<b>1.757,00</b>	<b>2.143,00</b>	<b>386,45</b>

Fonte: Fabricante Nacional - Informações restritas

## 5.4. Condicionadores de ar

---

Os aparelhos de ar condicionado ou condicionadores de ar são utilizados para o tratamento do ar em espaços fechados. Esse tratamento consiste em regular a qualidade do ar interior, no que diz respeito às suas condições de temperatura, umidade, limpeza e movimento. Para tal, um sistema de condicionamento de ar pode incluir as funções de aquecimento, arrefecimento, umidificação, renovação, filtragem e ventilação do ar.

Não foram encontrados estudos referenciando a relação entre o uso adicional de cobre e a eficiência energética de aparelhos de ar condicionado. Um equipamento padrão de 17.700 BTU/h contém cerca de 3,64 kg sendo que para sua instalação existe uma demanda adicional de 1,56 kg, o que totaliza 5,2 kg cobre por equipamento instalado.

## 5.5. Energias renováveis

---

No caso das fontes de geração de eletricidade de origem renovável são consideradas as seguintes tecnologias: eólica, pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), biomassa e energia solar fotovoltaica. A tecnologia solar fotovoltaica concentrada não foi considerada por ainda não ser utilizada na América Latina. A Tabela 11 mostra o uso de cobre por MW de capacidade instalada de cada uma dessas tecnologias. A Tabela 12 mostra a capacidade instalada para cada um dos países considerados.

**Tabela 11– Uso adicional de cobre por capacidade instalada de fontes renováveis de geração**

Tecnologia	Demanda de cobre por tecnologia
Eólica	2,5 toneladas de cobre/MW
PCHs	2,0 toneladas de cobre/MW
Biomassa	1,2 toneladas de cobre/MW
Fotovoltaica	8,8 toneladas de cobre/MW

Fonte: Leonardo Energy and KEMA, 2009

**Tabela 12 - Capacidade instalada de fontes renováveis de geração**

País	Eólica (MW)	PCH (MW)	Biomassa (MW)	Fotovoltaica (MW)	Total (MW)
<b>Brasil</b>	1.638*	4.043	9.644*	20	10.879
<b>Argentina</b>	31	380	720	10	1.141
<b>Chile</b>	20	159	166	0	345
<b>México</b>	85	377	243	15	720
<b>Colômbia</b>	18	472	134	1	625
<b>Peru</b>	1	210	77	4	291
<b>Total</b>	<b>1.591</b>	<b>5.641</b>	<b>6.720</b>	<b>50</b>	<b>14.001</b>

FONTE: Jannuzzi *et al*, 2010 \* Valores atualizados conforme [www.aneel.gov.br/](http://www.aneel.gov.br/)

## 5.6. Aquecedores solares de água

As placas coletoras são responsáveis pela absorção da radiação solar. O calor do sol, captado pelas placas do aquecedor solar, é transferido para a água que circula no interior de suas tubulações de cobre.

Um sistema básico de aquecimento de água por energia solar é composto de coletores solares (placas) e reservatório térmico (Boiler). O reservatório térmico, também conhecido por Boiler, é um recipiente para armazenamento da água aquecida. São cilindros de cobre, inox ou polipropileno, isolados termicamente com poliuretano expandido sem CFC, que não agride a camada de ozônio. Desta forma, a água é conservada aquecida para consumo posterior. A caixa de água fria alimenta o reservatório térmico do aquecedor solar, mantendo-o sempre cheio. Em média é sabido que cada metro quadrado de aquecedor solar instalado demanda 5kg de cobre.

## 6. Resultados

A Tabela 13 mostra coeficientes técnicos de mitigação de emissões de CO<sub>2</sub> proporcionada pela penetração de uma unidade de tecnologia eficiente de uso final de energia. Conforme mostra a Equação 2 (Seção 4.1), além de serem dependentes da diferença de consumo de energia entre as tecnologias denominadas padrão e eficiente, esses coeficientes são dependentes das perdas dos sistemas elétricos e, também, da composição da matriz energética dos países avaliados. Sendo assim, esses coeficientes refletem em certa medida a intensidade de carbono embutida na matriz energética dos países avaliados. Destaca-se que a substituição da queima direta de gás natural por aquecedores solares de água apresentam os maiores coeficientes de mitigação<sup>7</sup>.

**Tabela 13– Coeficientes técnicos de mitigação de CO<sub>2</sub> por equipamento**

País	Motor Elétrico	Refrigerador	Ar condicionado	Aquecedor Solar <sup>1</sup>
	Ton de CO <sub>2</sub> /equipamento/ano			
<b>Argentina</b>	0,31959	0,04867	0,07699	0,66759
<b>Brasil</b>	0,08194	0,01248	0,01974	0,07147
<b>Chile</b>	0,30717	0,04678	0,07399	0,66759
<b>Colômbia</b>	0,14366	0,02188	0,03461	0,66759
<b>México</b>	0,41248	0,07852	0,12420	0,66759
<b>Peru</b>	0,18290	0,02785	0,04406	0,66759

<sup>1</sup> No caso do Brasil os aquecedores solares substituem chuveiros elétricos e nos demais casos essa tecnologia substitui a queima direta de gás natural.

A partir dos coeficientes técnicos mostrados na Tabela 13 e da avaliação de conteúdo de cobre conforme apresentado no capítulo 5 a Tabela 14 mostra os coeficientes de mitigação de CO<sub>2</sub> por kg de cobre adicionado aos equipamentos eficientes.

**Tabela 14– Coeficientes técnicos de mitigação de CO<sub>2</sub> por kg de cobre adicional**

País	Motores Elétricos	Refrigeradores	Ar Condicionado	Aquecedor Solar
	Ton de CO <sub>2</sub> /kg de cobre adicional/ano			
<b>Argentina</b>	0,491	0,128	0,099	0,033
<b>Brasil</b>	0,126	0,033	0,025	0,004
<b>Chile</b>	0,471	0,123	0,095	0,033
<b>Colômbia</b>	0,221	0,058	0,044	0,033
<b>México</b>	0,614	0,207	0,159	0,033

<sup>7</sup> No caso, as estimativas consideram aquecedores solares com 4m<sup>2</sup> de área substituindo anualmente 220 m<sup>3</sup> de gás natural.

Peru	0,281	0,073	0,056	0,033
------	-------	-------	-------	-------

A Tabela 15 mostra coeficientes de mitigação de emissões de CO<sub>2</sub> no caso da geração renovável, já considerando as características de cada país (Anexo1) e as considerações feitas nas equações 3 e 4 apresentadas na seção 4.2.

**Tabela 15 – Coeficientes técnicos de mitigação de CO<sub>2</sub>: tecnologias de geração renovável**

País	Eólica	PCH	Biomassa	Solar FV
Ton de CO <sub>2</sub> /MW instalado/ano				
<b>Brasil</b>	141,7	403,9	354,3	106,3
<b>Argentina</b>	559,8	1595,3	1399,4	419,8
<b>Chile</b>	574,8	1638,3	1437,1	431,1
<b>México</b>	899,7	2564,0	2249,1	674,7
<b>Colômbia</b>	243,4	693,6	608,4	182,5
<b>Peru</b>	336,9	960,2	842,3	252,7

A Tabela 16 mostra os resultados das estimativas de mitigação das emissões de CO<sub>2</sub> resultantes da venda anual de equipamentos eficientes. Os maiores impactos de mitigação devido à penetração de equipamentos eficientes dentre os países analisados ocorre no México onde a cada ano cerca de 750 mil toneladas de carbono deixariam de ser emitidas na atmosfera.

**Tabela 16 – Resultados de mitigação de CO<sub>2</sub>: tecnologias de uso final de energia (t CO<sub>2</sub>/ano)**

País	Motores Elétricos	Refrigeradores	Ar Condicionado	Aquecedor Solar	Total
<b>Argentina</b>	5.983	21.901	9.585	-	<b>37.468</b>
<b>Brasil</b>	114.714	54.904	11.349	15.723	<b>196.690</b>
<b>Chile</b>	4.147	5.730	2.353	7.043	<b>19.273</b>
<b>Colômbia</b>	4.870	7.055	1.453	-	<b>13.379</b>
<b>México</b>	430.213	222.993	40.987	51.237	<b>745.430</b>
<b>Peru</b>	1.975	3.760	264	7.110	<b>13.110</b>
<b>Total</b>	<b>561.902</b>	<b>316.344</b>	<b>65.992</b>	<b>81.113</b>	<b>1.025.350</b>

A geração renovável não convencional (exclui-se as hidrelétricas) apresenta-se ainda pouco significativa na América Latina. Neste caso as estimativas de mitigação são baseadas na geração efetiva dessas fontes renováveis. A comparação é realizada com um cenário de ausência dessas fontes e sua substituição a partir da geração convencional (mix da matriz de geração de cada país).

A Tabela 17 mostra os resultados dessas estimativas para a geração eólica, PCHs, biomassa e fotovoltaica. Segundo as estimativas a cada ano 9,7 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> são mitigadas devido à capacidade instalada desse tipo de geração renovável. Mais da metade dessa mitigação é proveniente do Brasil, país que apesar de ter um fator médio de emissões de CO<sub>2</sub> menor que os demais países, possui maior capacidade instalada dessas fontes.

**Tabela 17**– Resultados de mitigação anual de CO<sub>2</sub> do programa de geração renovável (t CO<sub>2</sub>/ano)

País	Eólica	PCH	Biomassa	Solar Fotovoltaica	Total
<b>Brasil</b>	232.165	1.633.169	3.417.274	2.126	<b>5.284.735</b>
<b>Argentina</b>	17.106	606.224	1.007.575	4.198	<b>1.635.104</b>
<b>Chile</b>	11.497	260.485	238.555	0	<b>510.536</b>
<b>México</b>	76.470	966.631	546.539	10.121	<b>1.599.761</b>
<b>Colômbia</b>	4.478	327.358	81.523	183	<b>413.542</b>
<b>Peru</b>	236	201.640	64.855	935	<b>267.666</b>
<b>Total</b>	<b>341.952</b>	<b>3.995.508</b>	<b>5.356.321</b>	<b>17.563</b>	<b>9.711.344</b>

Nota: Valores calculados a partir dos coeficientes técnicos (Tabela 15)

O **Anexo 1** mostra o estudo de caracterização das matrizes elétricas e respectivos fatores de emissão de CO<sub>2</sub> dos países analisados. O **Anexo 2** mostra demais parâmetros e premissas utilizadas nas estimativas. O **Anexo 3** mostra as estimativas da contribuição das atividades do ICA LA nos mercados dos países estudados.

## 7. Conclusões

---

O trabalho apresentou uma metodologia para estimar o impacto da mitigação das emissões de CO<sub>2</sub> resultantes da difusão de tecnologias eficientes no uso de eletricidade, devido à substituição do uso de gás natural por aquecedores solares e, também, devido ao aumento da participação de fontes de geração renovável (eólica, PCHs, biomassa e solar fotovoltaica). Essa metodologia permitiu a elaboração de coeficientes técnicos que permitem estimar, a partir do mercado avaliado (vendas anuais totais ou parte desta) e, no caso da geração renovável, a sua capacidade instalada, os respectivos impactos de mitigação de emissões de CO<sub>2</sub>. Este estudo também apresentou coeficientes técnicos relacionando aos impactos da mitigação e o correspondente adicional de cobre em equipamentos de uso final de energia.

Estes coeficientes e as taxas estimadas de penetração de equipamentos eficientes nos mercados da Argentina, Brasil, Chile, México, Colômbia e Peru, foram utilizados para estimar o total de redução em emissões de CO<sub>2</sub>. Esses coeficientes refletiram diretamente a matriz de geração elétrica dos países avaliados. Nesse sentido, quanto maior o valor do coeficiente, maior é a participação de fontes de origem fóssil (petróleo e derivados, gás natural, carvão).

Com base nesses coeficientes e a partir de dados anuais de mercado de vendas de tecnologias mais eficientes foram estimados impactos anuais em termos de conservação de energia. No caso da eletricidade anualmente são conservados 3,5 TWh devido a penetração de equipamentos elétricos eficientes. Destaca-se nesse caso o Brasil, que participa com cerca de 2 TWh ano deste total. A substituição de aquecedores a gás natural por aquecedores solares também resultaram em impactos significativos que correspondem anualmente a cerca de 21,4 mil toneladas de gás natural economizadas.

Em termos de mitigação de emissões de CO<sub>2</sub> os resultados foram muito significativos, principalmente nos países com matriz energética mais intensiva em carbono. Apenas a penetração de tecnologias de uso final de energia eficiente, são responsáveis por mitigar anualmente cerca de um milhão de toneladas de CO<sub>2</sub>, nos países analisados. Sendo somente o México responsável por 72% desse total.

No caso da geração renovável os impactos são ainda maiores, cerca de 9,7 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> deixariam de ser emitidas na atmosfera anualmente. O Brasil embora tenha um fator de emissão muito baixo quando comparado aos demais países, foi o que mais contribuiu devido a sua maior capacidade instalada. A geração a partir da biomassa possui maior participação na redução de emissões.



## 8. Referências

---

BAE. 2010. Balance Anual de Energía 2009 – Encontrado no web-site: <http://www.gob.cl/informa/2010/11/10/ministerio-de-energia-entrega-balance-anual-de-energia-2009.htm>

BEN. 2010. Balanço Energético Nacional 2010 – Encontrado no web-site: <https://ben.epe.gov.br/>

BNE. 2010. Balance de Energía del Perú 2010 – Encontrado no web-site: <http://www.minem.gob.pe/publicacion.php?idSector=12&idPublicacion=418>

Copper (2006) ECI. Information site providing up to date life cycle data on its key products. Disponível em: [www.copper-life-cycle.org](http://www.copper-life-cycle.org)

Garcia. A.G.P (2003). Impacto da lei de eficiência energética para motores elétricos no potencial de conservação de energia na indústria. Dissertação de Mestrado. Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio De Janeiro.

Hans De Keulenaer. Constantin Herrmann. Francesco Parasiliti. (2006) 22 kW induction motors with increasing efficiency. Disponível em:

<http://www.leonardo-energy.org/Files/Case1-22kW-50.pdf>

Hans De Keulenaer (2006) 100 kVA distribution transformer designs with increasing efficiency. Disponível em:

<http://www.leonardo-energy.org/repository/Library/Papers/Case7-trafo-100-25.pdf>

INE. 2010. Instituto Nacional de Estadística – Web-site: <http://www.ine.cl>

IEA. 2011. International Energy Agency. CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion. IEA Statistics.

Jannuzzi, G.M.; Rodríguez, O.B.; Dedecca, J.G.; Nogueira, L.G.; Gomes, R.D.M, Navarro, J. (2010). Energias renováveis para geração de eletricidade na América Latina: mercado, tecnologias e perspectivas. Relatório de Projeto desenvolvido para “International Copper Association”. Disponível em:

[http://www.procobre.org/archivos/pdf/energia\\_sustentable/generacion\\_de\\_electricidad\\_pr.pdf](http://www.procobre.org/archivos/pdf/energia_sustentable/generacion_de_electricidad_pr.pdf)

Leonardo Energy and KEMA. 2009. System integration of distributed generation - renewable energy systems in different european countries.

Disponível em:

[http://www.leonardo-energy.org/files/root/pdf/2009/System\\_Integration\\_DG\\_RES.pdf](http://www.leonardo-energy.org/files/root/pdf/2009/System_Integration_DG_RES.pdf)

POISE. 2011. Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico 2011\_2025 – Coordinación de Planificación – CFE – Encontrado no web-site : <http://www.sener.gob.mx/portal/Default.aspx?id=1453#>

SEN. 2010. Estadísticas del Sector Eléctrico Encontrado no web-site: [http://www.sener.gob.mx/portal/industria\\_electrica\\_mexicana.html](http://www.sener.gob.mx/portal/industria_electrica_mexicana.html)

UPME. 2010. Balances\_Energéticos\_Nacionales\_30-mar-11 –Colombia - Balances Energéticos Nacionales 1975-2009 - Ing. Oscar Uriel Imitola Acero. Director General y Ing. Enrique Garzón Lozano. Subdirector de Información

## 9. Anexo 1 - Matriz Elétrica e Emissões dos Países Selecionados

---

A seguir são apresentadas as matrizes de geração elétrica de países onde existe atuação da ICA LA na promoção do uso do cobre: Brasil, México, Chile, Argentina, Peru e Colômbia. Esses países possuem distintas matrizes de geração elétrica, sendo alguns mais intensivos no uso de combustíveis fósseis como derivados de petróleo, carvão e gás natural e outros menos.

### 9.1. Brasil

---

A geração de energia elétrica no Brasil em centrais de serviço público e autoprodutores atingiu 509,2 TWh em 2010, resultado 10,0% superior ao de 2009, segundo análises dos Balanços Energéticos Nacionais de 2009/2010. A principal fonte é a energia hidráulica que apresentou elevação de 3,7% em 2010. A Figura 2 mostra que o Brasil apresenta uma matriz de geração elétrica de origem predominantemente renovável, sendo que a geração interna hidráulica responde por montante superior a 74,% da oferta. Somando as importações, as quais também são de origem renovável, pode-se afirmar que aproximadamente 86% da eletricidade no Brasil é oriunda de fontes renováveis (BEN, 2010).

### 9.2. México

---

Segundo as Estatísticas do Setor Elétrico Mexicano (SEN, 2010) a capacidade de geração de energia para o serviço público em dezembro de 2009 (51,686 MW) cresceu 1,14% em relação a 2008 (51,105 MW). A mais importante hidroelétrica do país, com 4,800 MW, localiza-se no rio Grijalva está interligada por centrais como Angostura, Chicoasén, malpaso e Peñitas. Em dezembro de 2009, segundo a Coordenadoria de Planificação (POISE, 2011), elas representavam 42,2% de toda a capacidade hidroelétrica em operação. No entanto em 2009 destaca-se uma redução da geração nas hidroelétricas devido ao período de seca sofrido pelo México. Essa queda foi compensada com usinas térmicas a gás e a base de combustíveis fósseis. A Figura 3 ilustra a diversidade da matriz elétrica mexicana no ano de 2009.

### 9.3. Peru

O Peru apresenta uma matriz de geração elétrica predominantemente de base fóssil. Segundo dados do BNE (2010) o gás natural é o principal combustível com 45,1%, seguido pela hidroenergia com 22,5%. A Figura 4 mostra a matriz de geração elétrica do Peru no ano de 2009.

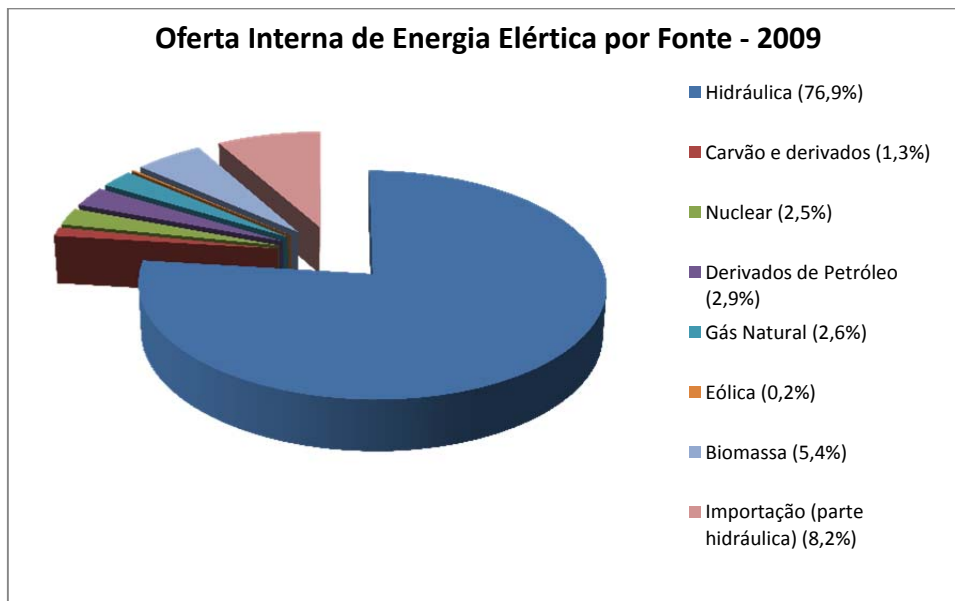


Figura 2 – Brasil: Oferta interna de energia elétrica por fonte - 2009

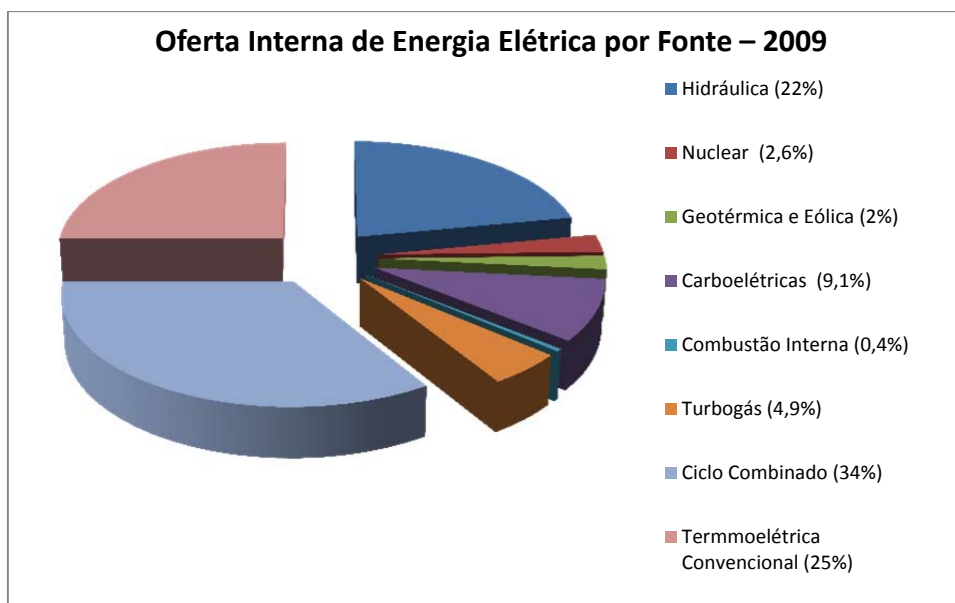


Figura 3 – México: Oferta interna de energia elétrica por fonte – 2009

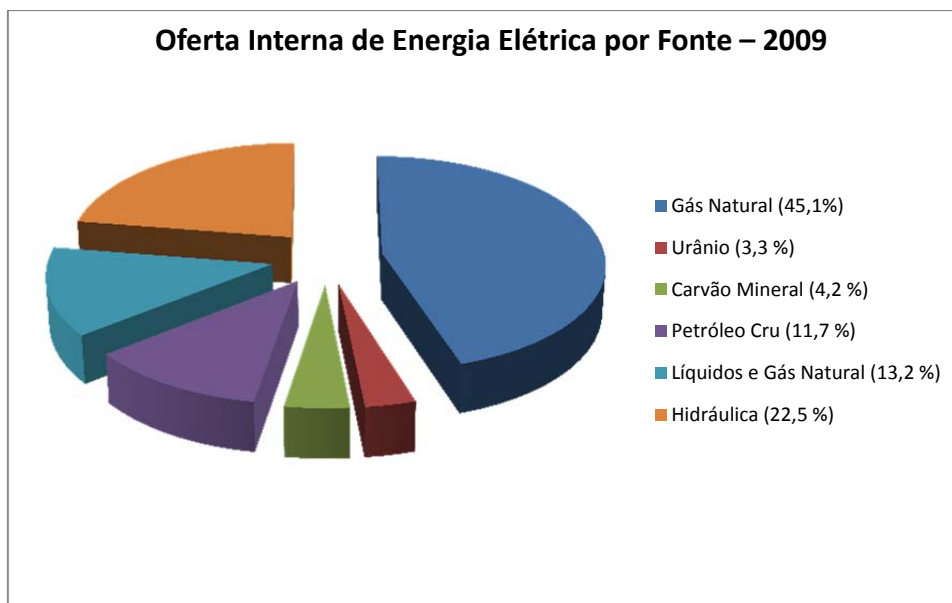


Figura 4– Peru - Oferta interna de energia elétrica por fonte – 2009

#### 9.4. Chile

---

No Chile as hidrelétricas correspondem a 43% da geração elétrica, a geração a base de carvão 27% e o petróleo 18%. O gás natural tem uma participação um pouco menor que 9%, já os recursos renováveis não convencionais contribuíram não mais do que 3% da geração (eólica e biomassa) (INE, 2010). A Figura 5 mostra a matriz de geração elétrica do Chile em 2009.

#### 9.5. Argentina

---

Na Argentina cerca de 90% da energia consumida é de origem fóssil sendo as principais fontes o gás natural e o petróleo (BAE, 2010). A Figura 6 mostra a matriz de geração elétrica no ano de 2009.

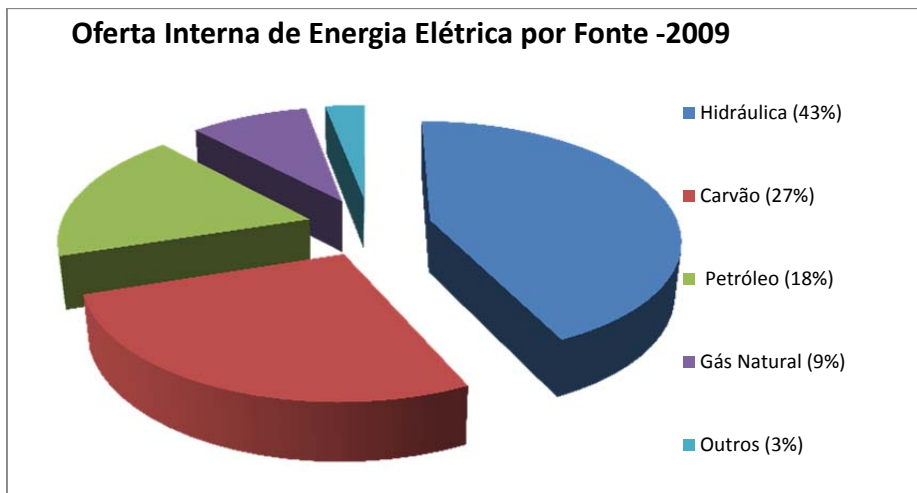


Figura 5– Chile - Oferta interna de energia elétrica por fonte – 2009

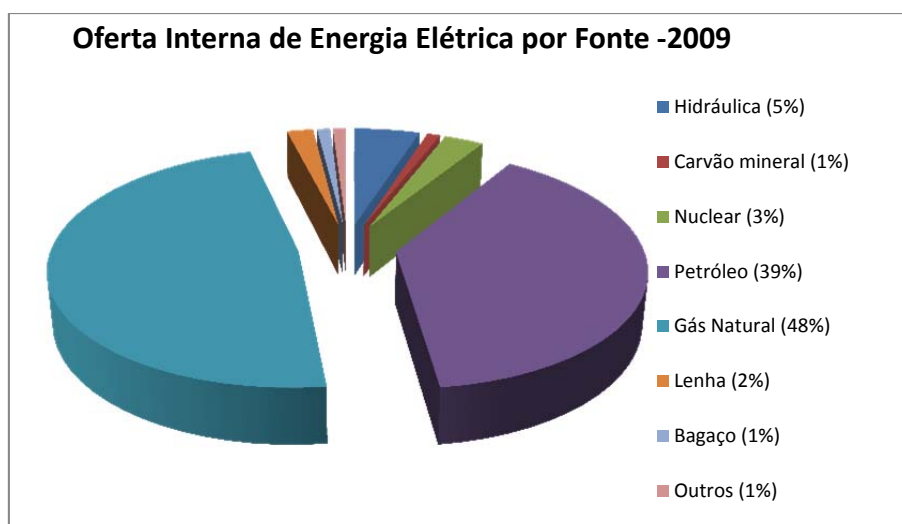


Figura 6 – Argentina: Oferta interna de energia elétrica por fonte - 2009

## 9.6. Colômbia

Na Colômbia predomina a geração elétrica a base de carvão mineral com 47,3%, seguida do petróleo com 33,8% e o gás natural com 10,4%. A Figura 7 mostra a matriz de geração elétrica no ano de 2009 (UPME, 2010).

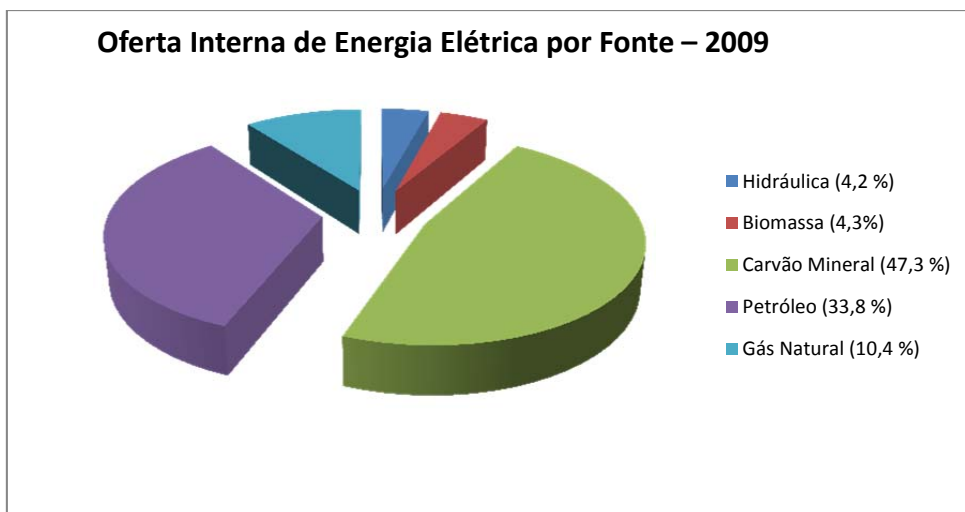


Figura 7– Colômbia: Oferta interna de energia elétrica por fonte – 2009

### 9.7. Fator de emissão dos sistemas elétricos nacionais

O fator de emissões médio dos sistemas elétricos nacionais reflete diretamente a composição da matriz elétrica dos países. Conforme mostrado nas seções anteriores a maioria dos países analisados possui uma matriz fortemente dependente da geração de base fóssil, o que implica em fatores de emissão elevados. A Figura 8 mostra, segundo um estudo da IEA (2011), os fatores de emissão médios de CO<sub>2</sub> do setor elétrico dos países analisados. Estes fatores geralmente são calculados considerando a média das emissões da geração de todas as usinas que estão gerando energia.

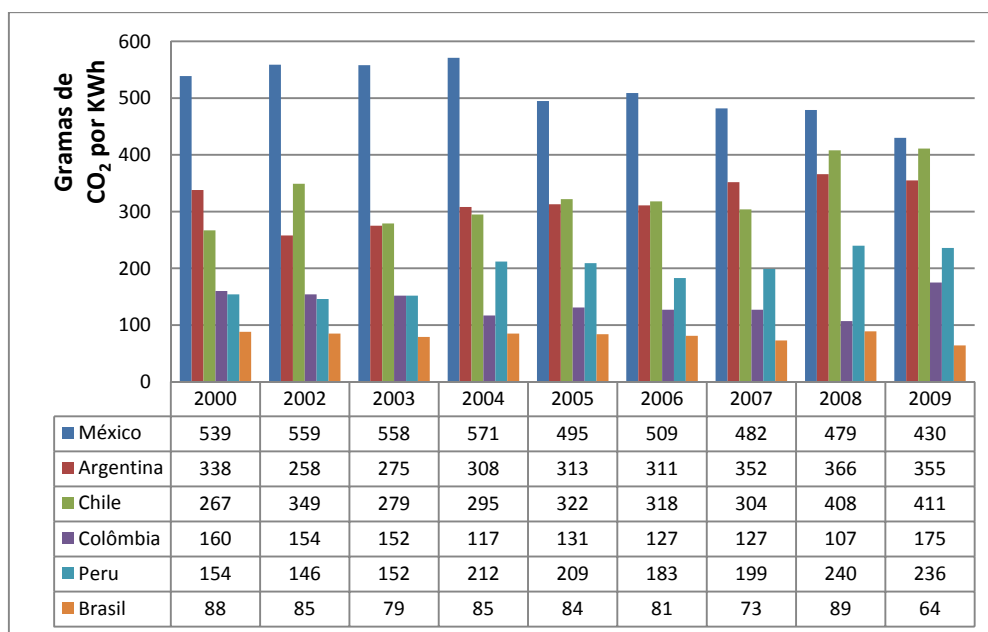


Figura 8– Fator médio de emissões de CO<sub>2</sub> do sistema elétrico: 2000 – 2009

Fonte: IEA (2011)

## 10. Anexo 2 – Parâmetros Utilizados nas Estimativas das Contribuições dos Programas ICA LA

As Tabelas 18 a 22 mostram para cada um dos equipamentos avaliados as premissas utilizadas no processo de estimativa dos impactos dos programas desenvolvidos pela ICA LA para fomento a difusão dos equipamentos eficientes.

**Tabela 18–** Premissas de abrangência dos programas: Motores Elétricos Trifásicos

País	Início	Fim	Mercado Total	Eficientes	Influência ICA
			<i>Unidades</i>	%	%
<b>Argentina</b>	2007	Em curso	374.400	5%	100%
<b>Brasil</b>	2002	Em curso	2.000.000	70%	90%
<b>Chile</b>	2006	Em curso	90.000	15%	100%
<b>Colômbia</b>	2007	Em curso	226.000	15%	50%
<b>México</b>	2006	Em curso	1.490.000	70%	95%
<b>Peru</b>	2007	Em curso	540.000	2%	100%
<b>Total</b>			<b>4.720.400</b>		

**Tabela 19–** Premissas de abrangência dos programas: Transformadores de Distribuição

País	Início	Fim	Mercado Total	Eficientes	Influência ICA
			<i>Unidades</i>	%	%
<b>Argentina</b>	2007	Em curso	1.900	0%	0%
<b>Brasil</b>	2006	Em curso	150.000	20%	90%
<b>Chile</b>	2007	Em curso	8.600	30%	90%
<b>Colômbia</b>	2007	Em curso	110.000	10%	60%
<b>México</b>	2007	Em curso	127.500	3%	100%
<b>Peru</b>	2007	Em curso	450	0%	0%
<b>Total</b>			<b>398.450</b>		

**Tabela 20–** Premissas de abrangência dos programas: Refrigeradores

País	Início	Fim	Mercado Total	Eficientes	Influência ICA
			<i>Unidades</i>	%	%
<b>Argentina</b>	2007	2011	900.000	50%	0%
<b>Brasil</b>	2006	Em curso	5.500.000	80%	5%
<b>Chile</b>	2007	Em curso	245.000	50%	50%
<b>Colômbia</b>	2007	2011	645.000	50%	0%
<b>México</b>	2007	Em curso	3.550.000	80%	5%
<b>Peru</b>	2007	2011	450.000	30%	0%
<b>Total</b>			<b>11.290.000</b>		

Tabela 21– Premissas de abrangência dos programas: Ar Condicionado

País	Início	Fim	Mercado Total	Eficientes	Influência ICA
			<i>Unidades</i>	<i>%</i>	<i>%</i>
<b>Argentina</b>	2007	2011	415.000	30%	0%
<b>Brasil</b>	2006	Em curso	1.150.000	50%	5%
<b>Chile</b>	2007	Em curso	106.000	30%	50%
<b>Colômbia</b>	2007	2011	140.000	30%	3%
<b>México</b>	2007	Em curso	660.000	50%	5%
<b>Peru</b>	2007	2011	30.000	20%	3%
<b>Total</b>			<b>2.501.000</b>		

Tabela 22 – Premissas de abrangência dos programas: Aquecedor Solar

País	Início	Fim	Mercado Total	Eficientes	Influência ICA
			<i>m2</i>	<i>%</i>	<i>%</i>
<b>Argentina</b>	-	-	-	-	0%
<b>Brasil</b>	2005	Em curso	880.000	100%	100%
<b>Chile</b>	2005	Em curso	42.200	100%	100%
<b>Colômbia</b>	-	-	-	-	0%
<b>México</b>	2005	Em curso	307.000	100%	100%
<b>Peru</b>	2005	Em curso	42.600	100%	100%
<b>Total</b>			<b>1.271.800</b>		



## 11. Anexo 3 – Estimativas das Contribuições dos Programas ICA LA

---

### 11.1. Motores elétricos

---

A Tabela 23 mostra os resultados das estimativas dos impactos de mitigação das emissões de CO<sub>2</sub> dos programas de motores elétricos. Apesar de o Brasil ser o país com o programa de maior duração (com início em 2002) o México é o país que apresentou os maiores resultados cumulativos de mitigação, cerca de 11,4 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>. Essa oposição é explicada principalmente pela grande diferença entre os fatores de emissões entre esses países. Destaca-se que somente o Brasil e o México apresentam resultados baseados na participação no mercado de motores por categorias. Nos casos dos outros países as estimativas utilizam o modelo equivalente brasileiro. A Hipótese de operação é de 480 horas por mês (16 h/dia x 30 dias/mês) a 50% de carga.

**Tabela 23– Resultados de mitigação de CO<sub>2</sub> do programa de motores elétricos: milhões de toneladas**

País	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Total Cumulativo
Argentina	-	-	-	-	-	0,006	0,012	0,018	0,024	0,030	0,036	<b>0,126</b>
Brasil	0,103	0,206	0,310	0,413	0,516	0,619	0,723	0,826	0,929	1,032	1,136	<b>6,814</b>
Chile	-	-	-	-	0,004	0,008	0,012	0,017	0,021	0,025	0,029	<b>0,116</b>
Colômbia	-	-	-	-	-	0,002	0,005	0,007	0,010	0,012	0,015	<b>0,051</b>
México	-	-	-	-	0,409	0,817	1,226	1,635	2,044	2,452	2,861	<b>11,444</b>
Peru	-	-	-	-	-	0,002	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	<b>0,041</b>
<b>Total</b>	<b>0,103</b>	<b>0,206</b>	<b>0,310</b>	<b>0,413</b>	<b>0,929</b>	<b>1,456</b>	<b>1,982</b>	<b>2,509</b>	<b>3,035</b>	<b>3,561</b>	<b>4,088</b>	<b>18,592</b>

### 11.2. Refrigeradores

---

A Tabela 24 mostra os resultados das estimativas para refrigeradores. O México é o país que apresenta os maiores resultados de mitigação, cerca de 234 mil toneladas de CO<sub>2</sub>. No Brasil o impacto cumulativo do programa é de 77 mil toneladas e no Chile esse número é 60 mil toneladas.

Tabela 24– Resultados de mitigação de CO<sub>2</sub> do programa de refrigeradores: milhões de toneladas

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Total Cumulativo
Argentina	-	-	-	-	-	-	-	-
Brasil	0,003	0,005	0,008	0,011	0,014	0,016	0,019	0,077
Chile	-	0,003	0,006	0,009	0,011	0,014	0,017	0,060
Colômbia	-	-	-	-	-	-	-	-
México	-	0,011	0,022	0,033	0,045	0,056	0,067	0,234
Peru	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>0,003</b>	<b>0,020</b>	<b>0,036</b>	<b>0,053</b>	<b>0,070</b>	<b>0,087</b>	<b>0,103</b>	<b>0,371</b>

### 11.3. Condicionadores de ar

A Tabela 25 mostra os resultados das estimativas no caso dos aparelhos de ar condicionado. Novamente o maior impacto de mitigação proporcionado pelos programas acontece no México onde segundo as estimativas no período de 2007 a 2012 foram deixadas de ser emitidas na atmosfera 43 mil toneladas de CO<sub>2</sub>.

Tabela 25– Resultados de mitigação de CO<sub>2</sub> do programa de ap. de ar condicionado: milhões de toneladas

País	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Total Cumulativo
Argentina	-	-	-	-	-	-	-	-
Brasil	0,00057	0,00113	0,00170	0,00227	0,00284	0,00340	0,00397	<b>0,01589</b>
Chile	-	0,00118	0,00235	0,00353	0,00471	0,00588	0,00706	<b>0,02471</b>
Colômbia	-	0,00004	0,00009	0,00013	0,00017	0,00022	0,00026	<b>0,00092</b>
México	-	0,00205	0,00410	0,00615	0,00820	0,01025	0,01230	<b>0,04304</b>
Peru	-	0,00001	0,00002	0,00002	0,00003	0,00004	0,00005	<b>0,00017</b>
<b>Total</b>	<b>0,00057</b>	<b>0,00441</b>	<b>0,00826</b>	<b>0,01210</b>	<b>0,01595</b>	<b>0,01979</b>	<b>0,02364</b>	<b>0,08471</b>

### 11.4. Aquecimento solar de água

A Tabela 26 mostra os resultados dos programas de aquecedores solares. No caso foram simulados impactos do uso desses equipamentos substituindo, no Brasil, o uso de chuveiros elétricos, e nos demais países o uso do gás natural. Apesar da pouca idade desses programas seus impactos cumulativos de mitigação de emissões de CO<sub>2</sub> são significativos. No período de 2005 a 2012 cerca de 2,9 milhões de toneladas deixaram de ser emitidas na atmosfera devido à difusão dessa tecnologia no âmbito dos programas.

Tabela 26– Resultados de mitigação de CO<sub>2</sub> do programa de aquecedores solares: milhões de toneladas

País	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Total Cumulativo
Argentina	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Brasil	0,016	0,031	0,047	0,063	0,079	0,094	0,110	0,126	<b>0,566</b>
Chile	0,007	0,014	0,021	0,028	0,035	0,042	0,049	0,056	<b>0,254</b>
Colômbia	-	-	-	-	-	-	-	-	-
México	0,051	0,102	0,154	0,205	0,256	0,307	0,359	0,410	<b>1,845</b>
Peru	0,007	0,014	0,021	0,028	0,036	0,043	0,050	0,057	<b>0,256</b>
<b>Total</b>	<b>0,081</b>	<b>0,162</b>	<b>0,243</b>	<b>0,324</b>	<b>0,406</b>	<b>0,487</b>	<b>0,568</b>	<b>0,649</b>	<b>2,920</b>

## 11.5. Transformadores de distribuição

No caso dos transformadores de distribuição foi realizado um estudo de potencial para o caso brasileiro. Foram obtidos dados de perdas técnicas (total = vazio + cobre) a partir do estudo desenvolvido pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica da ELETROBRAS (CEPEL) encomendado pela International Cooper Association. Baseando em dados sobre a participação no mercado das várias categorias de transformadores, seus respectivos rendimentos e uso de cobre, foram estimados os potenciais de mitigação das emissões de CO<sub>2</sub>.

A Tabela 27 mostra os resultados das estimativas do potencial de conservação de energia, uso de cobre e mitigação de CO<sub>2</sub> com a aplicação de transformadores de distribuição monofásicos (1 $\phi$ ) e trifásicos (3 $\phi$ ) com rendimento 20% mais elevado. No caso, considerou-se a substituição do estoque atual brasileiro.

Tabela 27– Estimativas para transformadores de distribuição: estudo de potencial

Tipo	Energia conservada (total)	Energia conservada por unidade	Cobre adicional por unidade	Cobre adicional total	Redução da necessidade de oferta durante a vida útil	Total de Emissões evitadas	Emissões evitadas pelo uso adicional de cobre
	GWh/ano	kWh/ano	kg	Toneladas	GWh	Ton de CO <sub>2</sub>	Ton de CO <sub>2</sub> / kg de cobre
<b>1 <math>\phi</math></b>	385	248,39	3,5	5.435	13.397	1.083.856	0,1994
<b>3 <math>\phi</math></b>	1.232	1.116,50	7,9	8.673	42.843	3.466.017	0,3996
<b>Total</b>	<b>1.618</b>			<b>14.108</b>	<b>56.241</b>	<b>4.549.874</b>	