



**XXIV SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GET/10

22 a 25 de outubro de 2017  
Curitiba - PR

**GRUPO - GET**

**GRUPO DE ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GESTÃO DA TECNOLOGIA,  
DA INOVAÇÃO E DA EDUCAÇÃO - GET**

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE UM CENÁRIO INTENSIVO EM PREMISSAS DE  
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E FONTES RENOVÁVEIS PARA A INDÚSTRIA BRASILEIRA**

**Humberto Jantim Neto(\*)  
UNICAMP**

**Gilberto de Martino Jannuzzi  
UNICAMP**

**Conrado Augustus de Melo  
UFABC**

**RESUMO**

Este artigo apresenta os resultados de um cenário intensivo em eficiência energética e fontes renováveis quanto à demanda de energia elétrica e térmica no setor industrial brasileiro. São estabelecidas premissas que permitem estimar fatores de redução no consumo de energia, à luz de tecnologias de usos finais eficientes, e fatores de transição energética das fontes fósseis para fontes renováveis. A metodologia contempla a aplicação da ferramenta computacional MESAP PlaNet para modelar e simular um cenário de referência e cenário proposto. Conclui-se que é possível alcançar um cenário com demanda final de energia 40% inferior em relação ao cenário de referência.

**PALAVRAS-CHAVE**

Eficiência Energética, Fontes Renováveis, Setor Industrial, Transição Energética.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

A mudança do clima é real e está acontecendo agora e, para cumprir com o objetivo de limitar o aumento da temperatura média global em até 1,5°C, dispõe-se de pouco tempo para agir na redução das emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera. De acordo com publicações das organizações IPCC<sup>1</sup> (2016) e IEA<sup>2</sup> (2016), o setor industrial é um dos grandes responsáveis por essas emissões, por isso é necessário repensar a lógica desse sistema de consumo energético para garantir a manutenção do clima global e a qualidade de vida das pessoas. Historicamente, desde a Revolução Industrial, as economias tiveram como alicerce para seu desenvolvimento as fontes fósseis de energia, notadamente o petróleo e o carvão mineral. Por conta disso, parece ser pretencioso vislumbrar uma revolução transitória na matriz de consumo de energia integralmente renovável, tendo-se em vista um curto intervalo de tempo igualmente ao horizonte considerado neste estudo. Entretanto, ao considerar o desenvolvimento das fontes renováveis de energia, bem como as tecnologias eficientes já disponíveis e suas tendências, é possível lançar uma perspectiva ambiciosa para intensificar a eficiência energética e eliminar a dependência dos combustíveis fósseis na matriz industrial. Esforços do ponto de vista de políticas públicas também devem ser considerados e não são abordados no presente estudo, dedicado às projeções de energia.

<sup>1</sup> IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

<sup>2</sup> IEA – International Energy Agency

## 2.0 - OBJETIVO

Modelar e simular um cenário energético para a indústria brasileira, que seja intensivo em premissas de eficiência energética e com a proposição de uma transição energética dedicada integralmente às fontes renováveis de energia até 2050.

## 3.0 - METODOLOGIA

Para o presente estudo, foram reunidas e organizadas as variáveis de demanda de eletricidade e combustíveis para os principais segmentos da indústria, traduzidos em parâmetros de entrada os desempenhos das tecnologias de uso final aplicadas no setor, e proposta uma transição energética para fontes renováveis de energia até 2050. Para tal, foi realizada uma simulação de dois cenários de matriz energética até 2050 para o setor industrial: (i) um cenário de Referência, que reflete a continuidade das tendências e políticas atuais e; (ii) um cenário denominado Revolução Energética<sup>3</sup>, que apresenta uma solução possível para que, em 2050, o setor industrial alcance 100% de energia renovável. A metodologia que detalha esse cenário proposto é descrita por Simon, Gills e Fisher (2016).

Primeiramente, foi estimada a demanda de energia no cenário de Referência para o setor industrial brasileiro entre 2015 até 2050, tomando o ano de 2014 como referência. Como o crescimento econômico é o principal vetor para a demanda de energia, as projeções foram calculadas com base em estimativas de taxas de crescimento do PIB<sup>4</sup> até 2050 (Itaú BBA<sup>5</sup>, 2015), e também a partir do parâmetro de elasticidade-renda da demanda<sup>6</sup> por energia, que está em linha com o estudo oficial do governo para a demanda de energia até 2050 (EPE<sup>7</sup>, 2014). Após o cálculo da demanda de energia de Referência, que segue as mesmas tendências apresentadas pelo governo, foi elaborado um cenário Revolução Energética, o qual considera os potenciais de eficiência energética, por uso final, analisando-se as tecnologias disponíveis e, portanto, estima-se uma demanda energética no setor industrial mais eficiente e menor em relação à demanda de Referência.

A partir das estimativas de demanda energética para o setor industrial, foi utilizada a ferramenta MESAP PlaNet (Modular Energy System Analysis and Planning Environment), onde são realizadas projeções de balanço energético, tanto para um cenário que considera as tendências atuais, em linha com o apresentado pelo governo (EPE, 2014), como para um cenário que prevê as possibilidades de uma transição completa do uso de combustíveis fósseis para fontes renováveis até 2050.

A ferramenta computacional MESAP PlaNet é aplicada para a análise e simulações de balanços energéticos, considerando também impactos ambientais, como as emissões de gases de efeito estufa associadas ao uso da energia. As etapas principais que precedem a simulação do cenário de Referência e do cenário Revolução Energética para a indústria consistem em:

- I. Análise do cenário de Referência projetado para a demanda de energia elétrica e térmica no setor industrial brasileiro no período de 2015 a 2050, com 2014 sendo o ano referencial, com observações às perspectivas da evolução do PIB e elasticidade Energia-PIB<sup>8</sup>;
- II. Mapeamento e definição das variáveis necessárias à modelagem de eficiência energética e transição energética das fontes fósseis para renováveis;
- III. Ajustes e carregamento das variáveis na plataforma MESAP PlaNet; e
- IV. Resultados para o cenário de Referência e para o cenário intensivo em Eficiência Energética e Fontes Renováveis (Revolução Energética).

<sup>3</sup> Revolução Energética – é o cenário proposto no trabalho, o qual possui um objetivo final definido (ou '*target oriented*', do inglês), já que pressupõe 100% de energia renovável em 2050 e que, portanto, não deve ser interpretado como uma previsão do futuro, mas sim como um caminho possível.

<sup>4</sup> PIB – Produto Interno Bruto.

<sup>5</sup> Itaú BBA – instituição financeira pertencente ao grupo Itaú Unibanco. Dentre seus serviços, destacam-se as análises econômicas de longo prazo.

<sup>6</sup> Elasticidade-Renda da demanda – mede a variação percentual na quantidade demandada de um bem, no caso a energia, em função da variação percentual da renda do consumidor.

<sup>7</sup> EPE – Empresa de Pesquisa Energética, órgão vinculado ao Ministério de Minas e Energia.

<sup>8</sup> Elasticidade Energia-PIB – indicador que traduz a sensibilidade da variação da demanda energética em função das variações do PIB.

### 3.1 Premissas para Eficiência Energética

Os segmentos da indústria considerados neste estudo são os mesmos apresentados no Balanço Energético Nacional (BEN, 2015), e os usos finais da energia são os mesmos analisados no Balanço de Energia Útil (BEU, 2005), tais como: iluminação, refrigeração, calor de processo, força motriz, eletroquímica e aquecimento direto. Para cada segmento industrial investigou-se a estrutura de consumo de eletricidade e de combustíveis (energia térmica), segundo seus usos finais. Na etapa seguinte, realizou-se o levantamento e a caracterização das tecnologias principais que estão em operação nos processos de conversão energética para o ano-base 2015. Foram consultados estudos que apresentam referências sobre consumo de energia final e útil, rendimentos de conversão por fonte de energia e diagnósticos energéticos setoriais, a partir dos quais foi possível determinar o nível de eficiência energética no ano-base para cada segmento industrial.

Uma abordagem para a identificação de tecnologias disponíveis e mais eficientes em termos de desempenho energético foi realizada com base em estudos nacionais e internacionais que analisam tendências tecnológicas e melhorias de processos de conversão de energia.

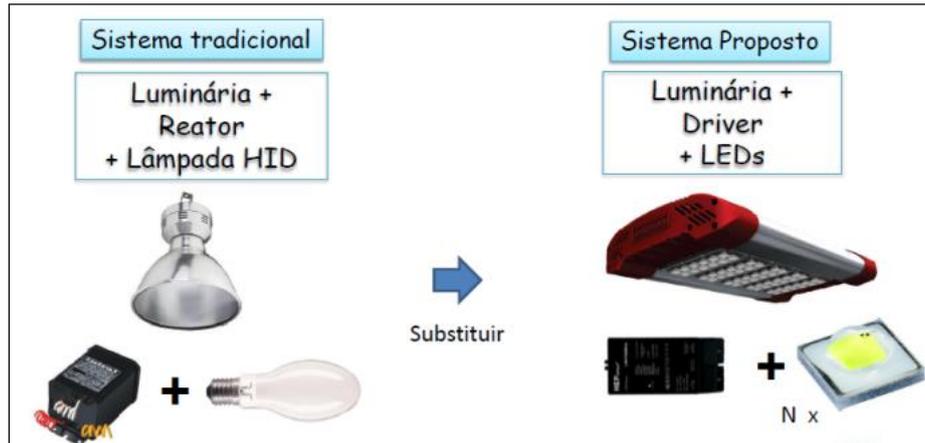


Figura 1 – Tecnologia LED em iluminação industrial. (11º Congresso Brasileiro de Eficiência Energética. Tiago Maggi, INTRAL. 2014).

No caso de refrigeração industrial, tecnologias já disponíveis permitem reduções significativas no consumo de eletricidade. A Figura 2 traz um exemplo de unidade híbrida de refrigeração industrial, cujo desempenho está na faixa de 15-30%, dependendo das condições de instalação do sistema.

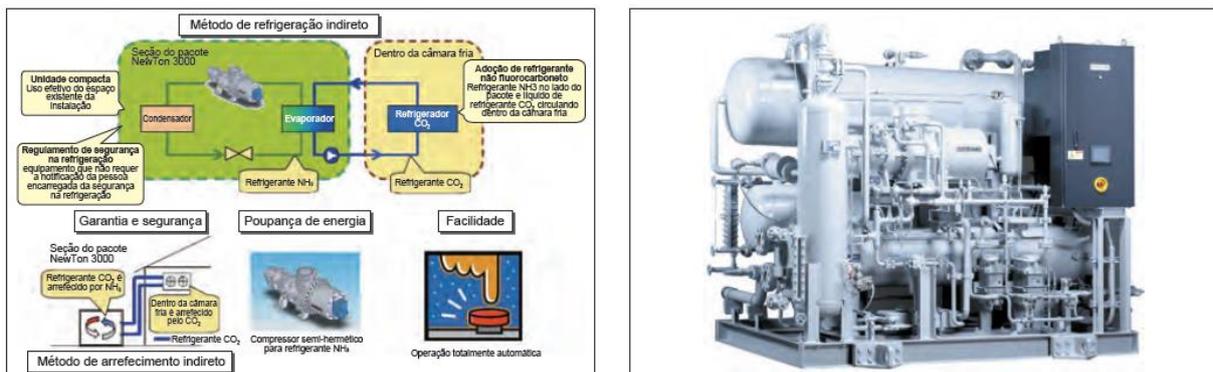


Figura 2 – Unidade híbrida de refrigeração industrial. (JASE/Mayekawa Mfg. Co. 2014).

No uso final de força motriz, as oportunidades de ganhos de eficiência energética são frequentes na indústria, na medida em que grande parte dos processos é acionada por motores elétricos acoplados a maquinários de diferentes categorias como, por exemplo, sistemas de bombeamento de fluidos, compressores, esteiras transportadoras, prensas, filtros; sistemas de ventiladores e exaustores; bombas especiais acopladas a máquinas injetoras e extrusoras<sup>9</sup>. Na Figura 3, está exemplificado um motor elétrico de alto rendimento o qual pode ser

<sup>9</sup> Extrusoras – máquinas que realizam processo de produção em que o material, em estado plástico, é forçado no interior de uma matriz a fim de adquirir um formato pré-determinado para um produto ou peça.

operado junto ao inversor de frequência (ou controlador variável de velocidade), cujo conjunto possibilita ganhos de eficiência de 10-50% dependendo da instalação fabril.



Figura 3 – Motor elétrico de alto rendimento e controlador variável de velocidade. (WEG Brasil, 2015).

Nas Figuras 4 e 5, são apresentadas tecnologias designadas para melhorias no uso final de aquecimento direto e calor de processo, respectivamente.

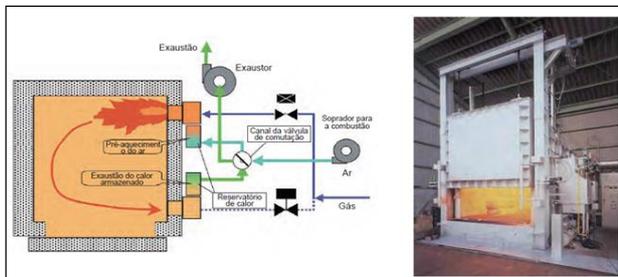


Figura 4 – Forno industrial de alto desempenho equipado com queimador regenerativo. (Tokyo Gas Co., 2014).

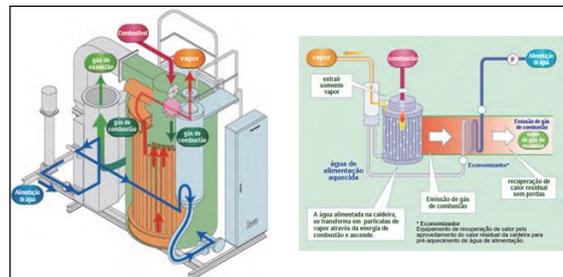


Figura 5 – Caldeira de passe único. (Kawasaki Thermal Engineering Co., 2014).

Outras variedades tecnológicas foram consultadas ao logo do estudo a fim de obter parâmetros que permitiram estimar os fatores de redução de consumo energético para cada uso final dos segmentos industriais, respectivamente para os anos de 2030 e 2050, em relação aos desempenhos verificados no ano-base 2014.

As Tabelas 1 e 2 apresentam os fatores de redução estimados para eletricidade nos usos finais da indústria para os anos de 2030 e 2050. Nas Tabelas 1 a 4, os fatores de redução global resultam da composição relativa à parcela de energia destinada a cada uso final dos segmentos industriais, conforme a Equação 1.

$$FRG_i(\%) = FR_j(\%) \cdot CD_{i,j} \quad (1)$$

$FRG_i(\%)$  é o fator de redução global no segmento  $i$ ;

$FR_j(\%)$  é o fator de redução de consumo energético no uso final  $j$ ; e

$CD_{i,j}$  é o coeficiente de destinação de energia para o uso final  $j$  no segmento industrial  $i$ .

O cálculo dos coeficientes de destinação do insumo energético (eletricidade ou combustível) teve como referência a metodologia aplicada nos estudos do Balanço e Energia Útil (BEU, 2005).

Tabela 1 – Fatores de redução no consumo de eletricidade, no ano 2030.

SETOR / USOS FINAIS	INDÚSTRIA (segmentos)										
	Alimentos e Bebidas	Papel e Celulose	Cimento	Cerâmica	Química	Têxtil	Mineração e Pelotização	Outras Indústrias	Metais Não-Ferrosos	Ferro-Gusa e Aço	Ferro-Ligas
<b>Fatores de Redução Global (%)</b>	<b>21,8</b>	<b>27,3</b>	<b>27,9</b>	<b>25,4</b>	<b>26,7</b>	<b>18,3</b>	<b>26,1</b>	<b>23,4</b>	<b>20,7</b>	<b>27,3</b>	<b>16,7</b>
Iluminação	12,0	11,1	11,2	10,9	10,8	9,1	18,6	16,7	15,6	15,3	16,2
Refrigeração/Resfriamento	17,1	15,5	11,2		12,0	9,0		16,8			16,4
Calor de Processo	11,5	11,1					18,6	15,0			
Força Motriz	31,2	28,2	28,2	26,7	33,0	25,2	26,7	29,0	33,5	30,5	26,7
Eletroquímica				6,7	9,2				15,6	11,9	
Aquecimento Direto	10,6			14,8	8,6		18,6	15,0	14,6	11,4	16,4

Tabela 2 – Fatores de redução no consumo de eletricidade, no ano 2050.

SETOR / USOS FINAIS	INDÚSTRIA (segmentos)										
	Alimentos e Bebidas	Papel e Celulose	Cimento	Cerâmica	Química	Têxtil	Mineração e Pelotização	Outras Indústrias	Metais Não-Ferrosos	Ferro-Gusa e Aço	Ferro-Ligas
<b>Fatores de Redução Global (%)</b>	<b>39,1</b>	<b>40,2</b>	<b>41,2</b>	<b>38,6</b>	<b>37,8</b>	<b>31,6</b>	<b>39,2</b>	<b>36,8</b>	<b>30,4</b>	<b>40,6</b>	<b>25,1</b>
Iluminação	38,0	38,9	58,8	59,1	29,2	35,9	51,4	53,3	54,4	54,7	53,8
Refrigeração/Resfriamento	32,9	31,5	35,8		21,0	24,0		30,2			30,6
Calor de Processo	17,2	16,6					27,9	22,5			
Força Motriz	45,0	41,0	41,0	39,0	46,0	37,0	39,6	42,0	48,0	44,0	39,0
Eletroquímica				10,1	13,8				23,4	17,8	
Aquecimento Direto	54,4			22,2	12,7		27,9	22,5	21,9	17,1	24,6

As Tabelas 3 e 4 apresentam os fatores de redução estimados para combustíveis nos usos finais da indústria para os anos de 2030 e 2050, respectivamente.

Tabela 3 – Fatores de redução no consumo de combustíveis, no ano 2030.

SETOR / USOS FINAIS	INDÚSTRIA (segmentos)										
	Alimentos e Bebidas	Papel e Celulose	Cimento	Cerâmica	Química	Têxtil	Mineração e Pelotização	Outras Indústrias	Metais Não-Ferrosos	Ferro-Gusa e Aço	Ferro-Ligas
<b>Fatores de Redução Global (%)</b>	<b>17,5</b>	<b>28,3</b>	<b>39,1</b>	<b>45,4</b>	<b>27,1</b>	<b>30,5</b>	<b>29,5</b>	<b>16,5</b>	<b>23,7</b>	<b>36,7</b>	<b>32,8</b>
Calor de Processo	6,8	22,9	7,2	2,3	10,3	22,8	6,0	4,6	5,9	3,7	5,2
Força Motriz					8,5		2,9	4,5	4,1		3,5
Aquecimento Direto	10,7	5,4	31,9	43,1	8,3	7,7	20,6	7,4	13,7	33,0	24,1

Tabela 4 – Fatores de redução no consumo de combustíveis, no ano 2050.

SETOR / USOS FINAIS	INDÚSTRIA (segmentos)										
	Alimentos e Bebidas	Papel e Celulose	Cimento	Cerâmica	Química	Têxtil	Mineração e Pelotização	Outras Indústrias	Metais Não-Ferrosos	Ferro-Gusa e Aço	Ferro-Ligas
<b>Fatores de Redução Global (%)</b>	<b>31,5</b>	<b>45,4</b>	<b>60,7</b>	<b>54,6</b>	<b>34,5</b>	<b>38,2</b>	<b>42,1</b>	<b>22,3</b>	<b>35,1</b>	<b>57,3</b>	<b>47,2</b>
Calor de Processo	10,9	35,3	9,4	3,0	13,4	29,6	7,8	6,0	7,7	4,8	6,8
Força Motriz					11,6		3,4	5,2	4,7		4,1
Aquecimento Direto	20,6	10,1	51,3	51,6	9,5	8,6	30,9	11,1	22,7	52,5	36,4

A partir das estimativas realizadas para os fatores de redução no consumo energético, nos anos de 2030 e 2050, observando-se os desempenhos determinados no ano-base de 2014, foi possível calcular os fatores supracitados para cada ano ao longo do período 2015 a 2050, por meio da interpolação linear, iniciando a partir de 2020, dada a necessidade de um período de tempo para implementação das medidas de eficiência. Todos os fatores de redução foram carregados no modelo MESAP PlaNet para simular o cenário intensivo em eficiência energética.

### 3.2 Premissas para a Transição Energética

As estimativas de redução dos combustíveis fósseis foram realizadas para os anos de 2030 e 2050, de modo zerar a participação das fontes fósseis em 2050 e ampliar a combinação de fontes renováveis e eletricidade na matriz do consumo energético industrial. A partir dos dados estabelecidos para os anos 2015, 2030 e 2050, realizou-se a interpolação linear com a finalidade de obter os consumos proporcionais de energéticos ano-a-ano, ou seja, de 2015 a 2050.

Cabe salientar que a estimativa para os fatores de transição, tendo-se como foco um cenário sem a participação de fontes fósseis, é baseada na interpretação de dados conhecidos em outros estudos de mesmo tema, e que os critérios adotados nessas premissas são variáveis de um estudo para outro. Na Tabela 5 estão apresentados os fatores de transição de combustíveis fósseis (sólido, líquido e gasoso) para fontes renováveis (biomassa, solar térmico e hidrogênio) e eletricidade, os quais resultam das estimativas para os seguimentos industriais. A Figura 6 mostra a evolução da transição proposta, onde destaca-se maior inserção da eletricidade e biomassa sólida em substituição dos combustíveis fósseis.

Tabela 5 – Premissas para transição energética no setor industrial.

2015 - 2050	SETOR INDUSTRIAL			
	Combustíveis	2015	2030	2050
	Fóssil líquido	5,0%	3,5%	0,0%
	Fóssil sólido	21,6%	16,0%	0,0%
	Fóssil gasoso	12,6%	8,0%	0,0%
	Biomassa líquida	0,0%	1,7%	6,5%
	Biomassa sólida	40,5%	42,0%	46,5%
	Biomassa gasosa	0,0%	0,2%	2,5%
	Solar térmico	0,0%	1,8%	4,0%
	Hidrogênio	0,0%	0,3%	1,5%
<b>Eletricidade</b>	<b>20,3%</b>	<b>26,5%</b>	<b>39,0%</b>	
<b>total</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	

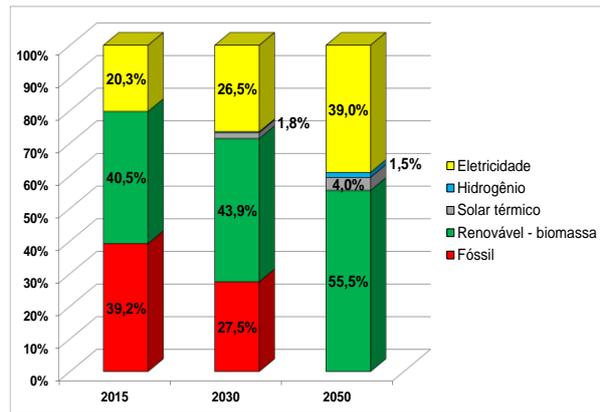


Figura 6 – Transição energética.

As Tabelas 5 e 6 resumem as premissas adotadas para a transição energética nos segmentos da indústria.

Tabela 6 – Fatores de transição energética.

2015 - 2050	SEGMENTOS DA INDÚSTRIA	Alimentos&Bebidas			Papel&Celulose			Cimento			Cerâmica			Química			Têxtil		
		2015	2030	2050	2015	2030	2050	2015	2030	2050	2015	2030	2050	2015	2030	2050	2015	2030	2050
	<b>Combustíveis</b>	<b>2015</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2015</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2015</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2015</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2015</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2015</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>
Fóssil líquido	2,6%	1,7%	0,0%	5,1%	4,3%	0,0%	2,1%	1,8%	0,0%	7,6%	5,0%	0,0%	29,3%	20,0%	0,0%	7,3%	6,0%	0,0%	
Fóssil sólido	0,5%	0,3%	0,0%	1,3%	0,8%	0,0%	74,3%	55,0%	0,0%	6,8%	4,5%	0,0%	7,0%	5,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	
Fóssil gasoso	2,6%	1,2%	0,0%	7,2%	4,5%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	27,8%	20,0%	0,0%	33,3%	25,0%	0,0%	27,0%	18,0%	0,0%	
Biomassa líquida	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	2,0%	10,0%	0,0%	0,5%	1,5%	
Biomassa sólida	84,7%	84,0%	84,0%	66,9%	67,5%	71,0%	11,0%	28,2%	75,0%	50,3%	55,0%	68,0%	2,1%	7,0%	7,0%	6,6%	7,5%	10,5%	
Biomassa gasosa	0,0%	0,3%	1,0%	0,0%	1,0%	2,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,5%	2,0%	0,0%	5,0%	10,0%	0,0%	1,0%	2,0%	
Solar térmico	0,0%	2,5%	4,0%	0,0%	0,8%	2,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	2,0%	0,0%	2,0%	
Hidrogênio	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,5%	1,5%	0,0%	0,0%	0,0%	
<b>Eletricidade</b>	<b>9,6%</b>	<b>10,0%</b>	<b>11,0%</b>	<b>19,5%</b>	<b>21,1%</b>	<b>24,3%</b>	<b>12,5%</b>	<b>15,0%</b>	<b>25,0%</b>	<b>7,5%</b>	<b>15,0%</b>	<b>30,0%</b>	<b>28,3%</b>	<b>30,0%</b>	<b>51,5%</b>	<b>59,1%</b>	<b>65,0%</b>	<b>78,0%</b>	
<b>total</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	

(continuação da Tabela 6).

2015 - 2050	SEGMENTOS DA INDÚSTRIA	Mineração&Pelotização			Outras Indústrias			Metais Não-Ferrosos			Ferro-Gusa e Aço			Ferro-Ligas		
		2015	2030	2050	2015	2030	2050	2015	2030	2050	2015	2030	2050	2015	2030	2050
	<b>Combustíveis</b>	<b>2015</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2015</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2015</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2015</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2015</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>
Fóssil líquido	18,2%	15,0%	0,0%	6,7%	4,0%	0,0%	14,9%	12,0%	0,0%	0,9%	0,5%	0,0%	5,5%	4,8%	0,0%	
Fóssil sólido	29,0%	20,0%	0,0%	7,6%	5,0%	0,0%	24,7%	18,0%	0,0%	55,3%	45,0%	0,0%	15,3%	13,0%	0,0%	
Fóssil gasoso	22,7%	16,0%	0,0%	26,9%	20,0%	0,0%	13,6%	10,0%	0,0%	12,9%	8,5%	0,0%	1,0%	0,5%	0,0%	
Biomassa líquida	0,0%	3,0%	10,0%	0,0%	2,5%	8,0%	0,0%	2,0%	8,0%	0,0%	0,5%	1,5%	0,0%	0,5%	2,5%	
Biomassa sólida	0,0%	8,0%	20,0%	11,6%	12,0%	15,0%	0,1%	5,0%	20,0%	20,7%	28,5%	53,5%	38,0%	39,2%	43,5%	
Biomassa gasosa	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,0%	2,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	2,0%	10,0%	0,0%	0,0%	0,0%	
Solar térmico	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	3,0%	10,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	
Hidrogênio	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	
<b>Eletricidade</b>	<b>30,1%</b>	<b>38,0%</b>	<b>70,0%</b>	<b>47,2%</b>	<b>52,5%</b>	<b>65,0%</b>	<b>46,7%</b>	<b>53,0%</b>	<b>72,0%</b>	<b>10,2%</b>	<b>15,0%</b>	<b>35,0%</b>	<b>40,2%</b>	<b>42,0%</b>	<b>54,0%</b>	
<b>total</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	

De modo geral, as premissas aqui adotadas assumem forte substituição dos combustíveis fósseis por eletricidade e biomassa sólida, a exemplo dos subprodutos da cana-de-açúcar e resíduos de madeira, ainda que contemplem a participação de biomassa líquida (etanol) e solar térmica para aquecimento de água, na matriz de consumo energético da indústria.

#### 4.0 - RESULTADOS E CONCLUSÃO

Com base nas premissas adotadas para as estimativas dos fatores de redução no consumo de energia e dos fatores de transição energética, o cenário intensivo em eficiência energética e fontes renováveis para a indústria brasileira é apresentado no gráfico da Figura 7. Nesse cenário proposto, denominado Revolução Energética, a demanda final de energia na indústria decresce no período entre 2015 e 2050, chegando ao final do horizonte do estudo com 3.181 PJ<sup>10</sup>, ou 40% inferior à demanda no cenário de Referência, cuja demanda é de 5.312 PJ. No ano de 2030, a redução da demanda é de 26% no cenário Revolução Energética em comparação ao de Referência. Observa-se que no período 2015-2030 ocorre forte redução da demanda final de energia por conta da aplicação das premissas adotadas sobre o mesmo período em que a demanda é muito intensa no cenário de Referência. Já no período 2030 a 2050, essa demanda é praticamente estável, enquanto que no cenário de Referência verifica-se comportamento crescente.

<sup>10</sup> PJ – Petajoule ou 10<sup>15</sup> J (joule), onde J é unidade de energia no Sistema Internacional de Unidades.

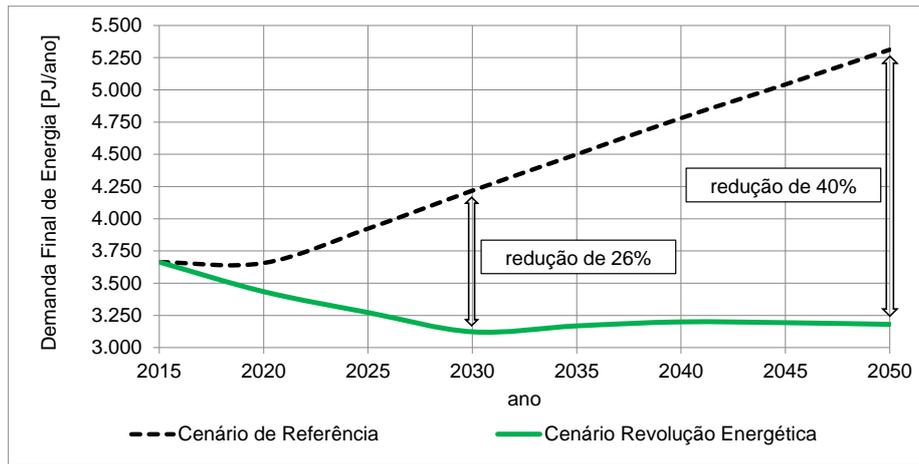


Figura 7 – Demanda Energética na indústria.

As tabelas e figuras subsequentes apresentam os resultados das demandas energéticas na matriz industrial, a partir das quais conclui-se que é possível obter um cenário integralmente renovável e com demanda de energia menor, quando comparado às tendências atuais que configuram o cenário de referência.

A Tabela 7 resume os resultados da demanda final de energia por tipo de fonte para o cenário de Referência, no qual é observado crescente participação das fontes não renováveis, principalmente o gás natural.

Tabela 7 – Demanda Final de Energia no cenário de Referência.

Demanda Final de Energia (PJ/ano)	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
<b>Industry</b>	3.664	3.656	3.923	4.218	4.500	4.781	5.042	5.312
- Electricity	741	739	792	872	926	1.012	1.074	1.170
- Hard coal & lignite	498	456	477	520	545	575	579	568
- Oil products	517	483	527	587	631	699	732	806
- Gas	458	491	536	618	677	760	823	889
- Solar	0	0	0	0	0	0	0	0
- Biomass	1.449	1.488	1.592	1.621	1.720	1.734	1.834	1.879
- Ambient heat (heat pumps)	0	0	0	0	0	0	0	0
- Hydrogen	0	0	0	0	0	0	0	0

Na Figura 8 é possível verificar, no entanto, que mesmo no cenário de Referência a participação da eletricidade e das fontes renováveis supera 50% da demanda final de energia na indústria, para todo o período estudado.

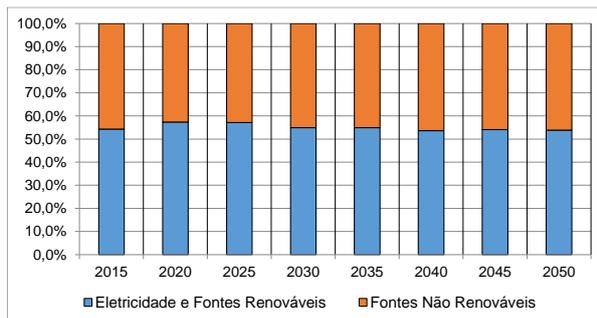


Figura 8 – Demanda Final de Energia no cenário de Referência.

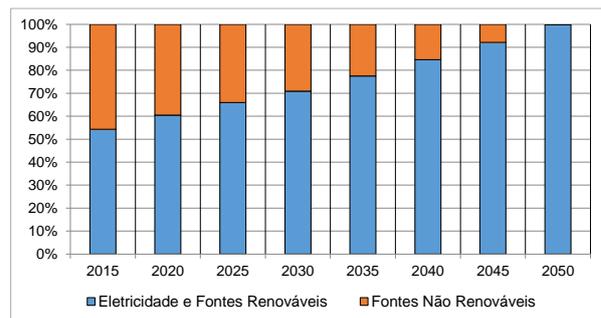


Figura 9 – Demanda Final de Energia no cenário Revolução Energética.

A Figura 9 ilustra, no cenário Revolução Energética, a evolução da eletricidade e fontes renováveis em substituição aos combustíveis fósseis, em que a energia elétrica e a fonte solar apresentam forte participação da demanda final de energia.

Já a Tabela 8 apresenta a demanda final de energia por insumo no caso do cenário Revolução Energética, onde o resultado aponta maior aproveitamento das fontes renováveis.

Tabela 8 – Demanda Final de Energia no cenário Revolução Energética.

Demanda Final de Energia (PJ/ano)	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
<b>Industry</b>	3.664	3.434	3.272	3.123	3.169	3.200	3.193	3.181
<b>RES electricity</b>	542	616	649	672	789	913	1.041	1.171
- Hard coal & lignite	498	429	344	281	221	153	76	0
- Oil products	517	402	350	297	227	153	76	0
- Gas	458	404	333	272	217	154	83	0
- Solar	0	17	33	49	66	83	101	121
- Biomass	1.449	1.443	1.476	1.491	1.599	1.706	1.794	1.876
- Ambient heat (heat pumps)	0	0	1	2	2	4	6	8
- Hydrogen	0	0	0	0	0	0	0	6

## 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) ENERGY PLAN. MESAP PlaNet - Modular Energy System Analysis and Planning Environment. Disponível em: <<http://www.energyplan.eu/othertools/national/mesap-planet/>>, 2016.

(2) EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Demanda de Energia 2050. Série Estudos da Demanda de Energia. Nota Técnica DEA 13/14. Rio de Janeiro: EPE, agosto de 2014.

(3) ITAÚ BBA/ITAÚ UNIBANCO. “Simulação para análise econômica: crescimento de longo prazo”. Comunicação pessoal. Agosto de 2015.

(4) JASE – JAPANESE BUSINESS ALLIANCE FOR SMART ENERGY WORLDWIDE; Mayekawa Mfg. Co. Japanese Smart Energy Products and Technologies. The Energy Conservation Center, Japan, 2016.

(5) JASE - JAPANESE BUSINESS ALLIANCE FOR SMART ENERGY WORLDWIDE; Kawasaki Thermal Engineering Co., Japanese Smart Energy Products and Technologies. The Energy Conservation Center, Japan, 2016.

(6) JASE – JAPANESE BUSINESS ALLIANCE FOR SMART ENERGY WORLDWIDE; Tokyo Gas Co. Japanese Smart Energy Products and Technologies. The Energy Conservation Center, Japan, 2016.

(7) MME - Ministério de Minas e Energia e EPE - Empresa de Pesquisa Energética. “Balanço Energético Nacional 2015”. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/>>.

(8) MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Balanço de Energia Útil - BEU 2005. Brasília: MME, 2005.

(9) SIMON, S., GILS, H. C., FICHTER, T. Methodology for the Energy [R]evolution: Scenarios for a Future Energy Supply. German Aerospace Center - Institute for Engineering Thermodynamics. Stuttgart, 2016.

(10) WEG BRASIL. Eficiência Energética em Sistema Motrizes. Webinar Leonardo Energy. Disponível em: <<http://leonardo-energy.org.br/wpdm-package/eficiencia-energetica-em-sistemas-motrizes/>>, 2015.

(11) 11º COBEE – CONGRESSO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. Eficiência Energética utilizando Tecnologia LED em Iluminação Industrial. Tiago Maggi, INTRAL. 2014.

## 6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Humberto Jantim Neto. Natural de Sorocaba-SP. Graduado na Unifei em 2007, com pós-graduação na Unicamp em 2017. Experiência Profissional: área de atuação em: Planejamento Energético, Projetos de Engenharia para Geração Hidroelétrica, Planejamento e Acompanhamento de Obras de Hidroelétrica (Engecorps Engenharia S.A. 2008-2014); publicações: Modelagem e Simulação do Comportamento de uma Válvula de Fluxo Hidráulica com o uso de Ferramenta de Hidroinformática (2008); Análise da Viabilidade Econômica e Socioambiental na Geração Distribuída de Energia Elétrica a partir de Fontes Renováveis (2010); Planejamento Integrado de Recursos para São Tomé e Príncipe: investigação de oportunidades para maior inserção de Fontes Renováveis e Eficiência Energética (2012); Análise Comparativa de Parâmetros Físicos entre Geração Distribuída e Centralizada, a partir de Empreendimentos Leiloados no período de 2011 a 2013 (2014).