

## MODELAGEM DO CONSUMO DE ENERGIA NA CIDADE DE CURITIBA

Aloísio Leoni Schmid<sup>(1)</sup>; Sérgio Fernando Tavares<sup>(2)</sup>; Marcelo Risso Errera<sup>(3)</sup>;  
Neilor de Carvalho Paes<sup>(4)</sup>; Cristina de Araújo Lima<sup>(5)</sup>;

(1) Universidade Federal do Paraná, [aloisio.schmid@gmail.com](mailto:aloisio.schmid@gmail.com)

(2) Universidade Federal do Paraná, [sergioftavares@gmail.com](mailto:sergioftavares@gmail.com)

(3) Universidade Federal do Paraná, [errera@ufpr.br](mailto:errera@ufpr.br)

(4) Universidade Federal do Paraná, [neilor.paes@gmail.com](mailto:neilor.paes@gmail.com)

(5) Universidade Federal do Paraná, [cristinadearaujolima@gmail.com](mailto:cristinadearaujolima@gmail.com)

### Resumo

*O notável aumento da frota de automóveis na primeira década do século XXI torna o modelo de mobilidade vigente nas cidades brasileiras alvo de questionamento quanto a sua eficiência energética. Embora matrizes energéticas nacional e estaduais estejam disponíveis, é necessário disponibilizar tal instrumento na escala urbana para quantificar a energia despendida pela mobilidade e mais: conhecer qual a sensibilidade desta fração de consumo de energia a parâmetros como composição da frota, combustíveis, tecnologias, velocidade média, número de usuários por veículo e outros. Objetivo deste trabalho é o de levantar uma matriz energética parcial para a cidade de Curitiba. Outro objetivo, a ser buscado futuramente, é de explicar, através da implementação computacional de um modelo técnico-contábil testado neste caso real, relações entre estrutura viária, frota, combustíveis, programação de viagem, densidade de usuários e política de trânsito. A estratégia de pesquisa utilizada é a descritiva. Será apresentada uma matriz energética para a cidade de Curitiba, referente ao ano de 2010. Serão feitas considerações iniciais sobre a questão de mobilidade urbana.*

**Palavras-chave:** *Eficiência energética, Matriz energética, Mobilidade urbana.*

### Abstract

*The considerable increase in the automobile fleet in the first decade of the 21th century makes the existing mobility model in Brazilian major cities the target of criticism regarding its energy efficiency. Although energy matrixes are available at the National and State levels, it is necessary to have such an instrument on the urban scale in order to quantify the energy expenditure in mobility and provide data to sensitivity studies involving parameters like fleet composition, fuels, technology, average velocity, user quantity and other. The objective of the present work is to establish an initial version of a energy matrix for Curitiba city. Another objective, to be pursued in the near future, is to explain, by means of a computational model on the technical-contabile method validated on this real case, the relationships between street structure, fuels, travel schedule, user density and traffic policies. The research strategy is mainly descriptive. As a result, an energy matrix for Curitiba city will be presented, valid for 2010. Initial considerations will be made on mobility as a broader issue.*

**Keywords:** *Energy efficiency, Energy Matrix, Urban mobility.*

## 1. INTRODUÇÃO

Na segunda década do século XXI, as cidades brasileiras se vêm preenchidas com automóveis e enfrentando problemas de congestionamento e poluição. Esta questão traz associada uma preocupação energética: são as cidades energeticamente eficientes? Qual a eficiência energética na mobilidade urbana?

A partir de resultados de Newman e Kenworthy (1989) e Kenworthy e Laube (1996), tornou-se conhecido um modelo hiperbólico entre a densidade populacional de cidades e o consumo de energia para o transporte, tendo ficados caracterizados padrões típicos de continentes. Shabbir e Ahmad (2010) fizeram estudos voltados a mobilidade a partir da ferramenta LEAP (voltada à elaboração de matrizes energéticas e balanços energéticos) do Instituto Ambiental de Estocolmo. Le Nechet (2012) apresentou modelo que inclui diversos parâmetros como variáveis independentes, para os quais apresenta estudo de sensibilidade em 34 cidades europeias. No Brasil não existe a produção sistemática de estatísticas energéticas na esfera de município, tornando-se tal etapa o princípio natural de uma pesquisa voltada à explicação da mobilidade em termos energéticos.

Assim sendo, o objetivo principal deste trabalho é apresentar uma descrição inicial da realidade energética associada à mobilidade urbana de uma cidade, tendo-se escolhido como caso para estudo a cidade de Curitiba. Um outro objetivo se propõe para a continuidade deste projeto: iniciar uma explicação, através de um modelo técnico-contábil implementado computacionalmente e testado no mesmo caso real, das relações entre estrutura viária, frota, combustíveis, programação de viagem, densidade de usuários e política de trânsito.

## **2. ESTRATÉGIA DE PESQUISA: OBTENÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA DE CURITIBA 2010, ANO BASE 2009**

A estratégia desta pesquisa, voltada para a elaboração da matriz energética, de acordo com uma formulação já tradicional em Metodologia Científica, é descritiva (ROBSON, 2011). Procura retratar, em termos quantitativos, a realidade energética num aglomerado urbano. Assim sendo, não há manipulação de variáveis que caracteriza um trabalho experimental. Tal procedimento é previsto na consecução do segundo objetivo (explicativo dos mecanismos envolvendo mobilidade e energia numa cidade).

A Companhia Paranaense de Energia – Copel – realiza anualmente o Balanço Energético do Paraná e disponibiliza os resultados consolidados desde o ano de 1980. Embora não seja o único agente responsável por distribuição de energia no estado do PR, sua cobertura é quase que total. Além disso, é uma das poucas concessionárias atuando simultaneamente na geração de energia. Mencione-se também o fato de haver permanecido sob controle estatal na onda de privatizações iniciada nos anos 90. Assim, mantém uma perspectiva de planejamento energético, com registro evolutivo de importante período de crescimento da economia e da evolução da matriz energética.

Os dados referentes à cidade de Curitiba não são publicados no Balanço. Ocorre, sim, uma divisão por regiões do Estado do Paraná. Em tais regiões, Curitiba está incluída na região Leste, que compreende o primeiro planalto paranaense e o litoral.

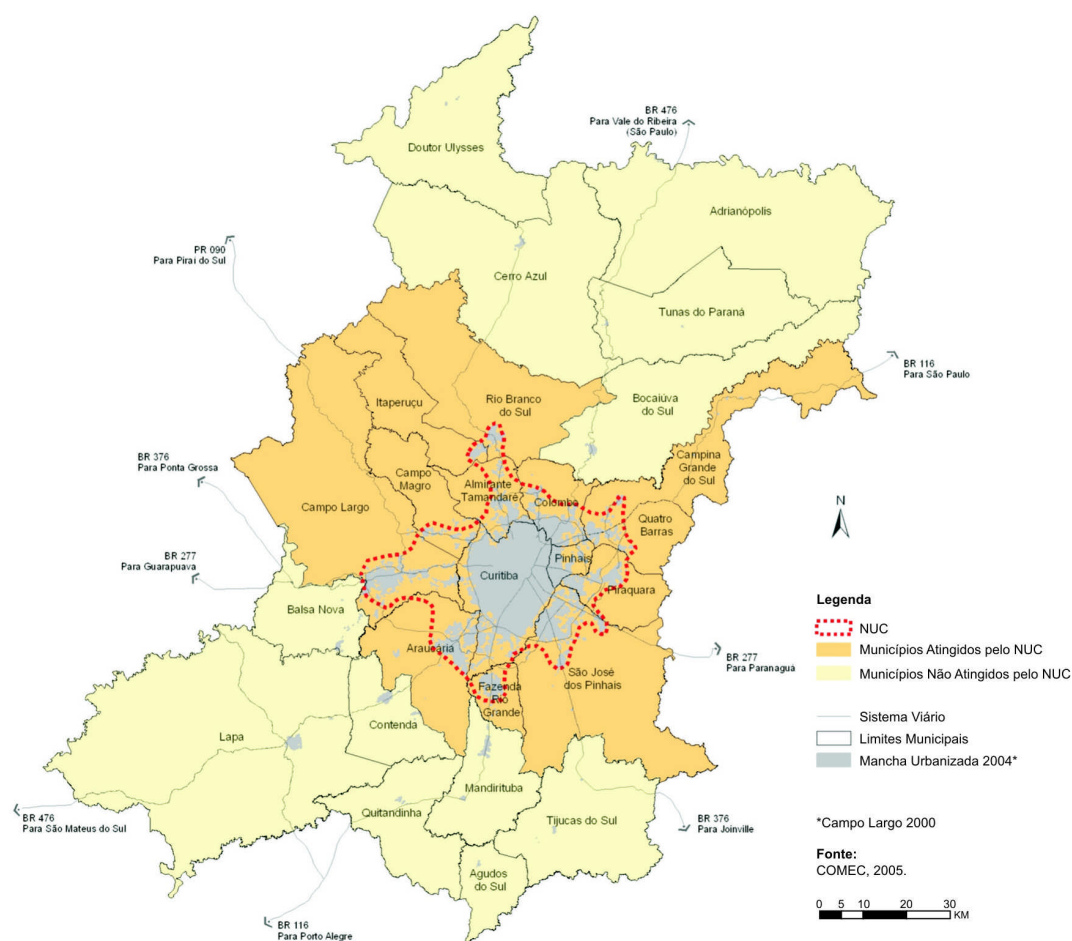
O estudo dessa região Leste não auxilia num trabalho em que o objetivo é estudar a cidade: estariam sendo somadas importantes parcelas referentes a outros aglomerados urbanos como Paranaguá, e considerável área rural (fisicamente isolados da metrópole Curitiba).

A redução de escopo para a Região Metropolitana de Curitiba (RMC), conceito utilizado em diversas estatísticas, ainda não soluciona esta situação. Tal região compreende mais de 20 municípios e repete os dois problemas verificados ao se adotar a região Leste da Copel. Trata-se, pois, de um conceito mais político que físico. Além disso, se a RMC é caracterizada por alguns dados econômicos, não se utiliza o mesmo domínio na elaboração de dados energéticos.

Uma possível aproximação seria a obtenção dos dados do município de Curitiba (uma unidade considerada nos dados da Copel que alimentam o Balanço Energético). No entanto, a esta abordagem cabe a ressalva de que tal recorte, agora demasiado estreito, novamente assume conotação somente política; não retrata o fenômeno urbano que transcende o município de Curitiba.

Por fim, resta abranger o chamado Núcleo Urbano Central (NUC) que, compreendendo territórios de 14 diferentes municípios (mas nunca a área politicamente definida de cada município), melhor retrata da conurbação de Curitiba. Os municípios compreendidos são, de acordo com o mapa, Curitiba, Almirante Tamandaré, Colombo, Campina Grande do Sul, Quatro Barras, Pinhais, Piraquara, São José dos Pinhais, Fazenda Rio Grande, Araucária, Campo Largo e Campo Magro, Itaperuçu e Rio Branco do Sul. A abrangência do NUC na Região Metropolitana de Curitiba é representada na Figura 1.

Figura 1 Núcleo Urbano Central, NUC, da Região Metropolitana de Curitiba, RMC (PARANÁ, 2006)



Como método de interpolação, adotou-se: a) a eliminação do setor primário (já que, por definição, não existe relevante produção agropecuária no território urbano), e b) a ponderação dos valores de consumo de energia em cada município, por energético e setor da economia (COPEL, 2012) pela população urbana em cada município (IPARDES, 2012). Os fatores de ponderação são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Fatores de ponderação para cálculo da abrangência do NUC de Curitiba

<b>MUNICÍPIO</b>	População urbana	População rural	Fração urbana
Almirante Tamandaré	98892	4312	0,96
Araucária	110205	8918	0,93
Campina Grande Do Sul	31961	6808	0,82
Campo Largo	94171	18206	0,84
Campo Magro	19547	5296	0,79
Colombo	203203	9764	0,95
<b>Curitiba</b>	1751907	0	1,00
Fazenda Rio Grande	75928	5747	0,93
Itaperuçu	19956	3931	0,84
Pinhais	117008	0	1,00
Piraquara	45738	47469	0,49
Quatro Barras	17941	1910	0,90
Rio Branco Do Sul	22045	8605	0,72
São José Dos Pinhais	236895	27315	0,90

Obteve-se assim valores de consumo para os principais energéticos tipicamente utilizados no setor de transportes: eletricidade, gasolina, GLP, óleo combustível, óleo Diesel, etanol, gasolina de aviação e querosene de aviação.

Valores de consumo de gás natural foram obtidos por extrapolação a partir dos dados de consumo de Curitiba, disponíveis para 2011 (COMPAGAS, 2012). Já o valor do consumo de carvão vegetal e lenha, foram obtidos da interpolação partindo dos dados válidos para a Região Leste do Paraná, no Balanço Energético do Paraná de 2009 (exercício 2008).

Tabela 2 – Fatores de ponderação para estimativa da matriz energética de 2010 para o NUC de Curitiba

	Valor agregado fiscal (VAF) setor primário (R\$)	Valor agregado fiscal (VAF) setor secundário (R\$)	Valor agregado fiscal (VAF) setor terciário (R\$)	Rendimento médio (R\$)	População urbana
NUC	0	26404779123	16221179021	1364	2921325
Paraná	26514413420	74233500139	54292193838	1427	8912692
Leste do PR	871254788	41324847308	26679394096	1182	2927702
Curitiba	65179157	12840654080	15974768525	1976	1751907
NUC / Paraná	0	0.356	0.2987755	13.39	0.33
NUC / Leste PR	0	0.639	0.608004	1.15	1.00
NUC / Curitiba	0	2.056	1.015425	0.69	1.67

Fonte: IPARDES (2012); Copel (2012).

Em ambos os casos, na ponderação, utilizou-se fatores apresentados na Tabela 1, que diferencia setor de consumo:

- Setor primário: foi omitido (já que o NUC considera somente a realidade urbana);
- Setor residencial: como peso, a população;
- Setor terciário e transporte: como peso, o valor agregado fiscal do setor;
- Setor público: como peso, valor agregado dos 3 setores

O consumo de gás natural verificado no NUC de Curitiba no ano de 2011, calculado mediante a extrapolação mencionada, foi de 205000 tep. Para obter os dados de 2010, foi feita a consideração da proporcionalidade à evolução do PIB do estado do Paraná no período 2010-2011, que foi de 4%. Obteve-se assim 196800 tep.

Tabela 3 - Cálculo do consumo de gás natural no NUC de Curitiba em 2010

setor	m³/dia*	fração	Consumo em Curitiba (1000 tep/ano)	Fator de extrapolação NUC/Curitiba	Consumo no NUC em 2011 (1000 tep/ano)	Varição do PIB do PR entre 2010 e 2011	Consumo no NUC em 2010 (1000 tep/ano)
residencial	9946	2,7%	3,01	1,67	5,03		
comercial	12207	3,3%	3,70	1,02	3,77		
industrial	135855	37,2%	41,16	2,056	84,62		
GNV	55091	15,1%	16,69	1,02	17,02		
matéria prima	151767	41,6%	45,98	2,056	94,53		
Total			110,5		205,0	4,00%**	196,8

Para comparação, uma interpolação com o fator 0,639 da Tabela 1, a partir do consumo de 321000 tep verificado na região Leste do Paraná para 2008, apresentada em Copel (2009), e ampliada pelo crescimento do PIB no estado do Paraná entre 2008 e 2010, que foi de 8,30%, resultou em 218000 tep. Adotou-se, portanto, a média entre a interpolação e a extrapolação: 210000 tep. Aplicou-se a mesma distribuição de consumo de gás por setor registrada para a cidade de Curitiba, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Consumo de gás natural no NUC de Curitiba, 2010

Setor	Consumo (1000 tep)
residencial	5,7
comercial	7,0
industrial	78,2
GNV	31,7
matéria prima (adicionado ao industrial)	87,4
Total	210,0

Não foram incluídos alguns energéticos que assumem especial importância fora do contexto urbano, mas expressivos se considerada a matriz energética estadual (que, no ano 2009, perfaziam 6900 x 1000 tep, ou seja, 43% de um consumo energético total de 15815 x 1000 tep):

- lenha e carvão vegetal (1613 x 1000 tep);
- querosene (112 x 1000 tep);
- outras fontes secundárias: coque de petróleo e gás de refinaria (788 x 1000 tep);
- bagaço de cana (2404 x 1000 tep);
- outras fontes renováveis (principalmente resíduos de madeira, com 1807 x 1000 tep);
- xisto (172 x 1000 tep);
- carvão mineral (4 x 1000 tep).

### 3. RESULTADOS OBTIDOS

A Tabela 5 apresenta uma estimativa para a matriz energética parcial do NUC de Curitiba, considerando apenas os energéticos de importância para o transporte. A unidade utilizada é a tonelada equivalente de petróleo (tep).

Tabela 5 – Estimativa da matriz energética parcial de 2010 para o NUC de Curitiba (1000 tep)

	óleo Diesel	Gasolina	óleo combustível	GLP	etanol	GN	eletricidade	Querosene de aviação	total	fração
setor energético	0,1	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,9	0,0		0,2%
setor residencial	0,0	0,0	0,0	125,2	0,0	5,7	180,3	0,0	311,2	30,9%
setor primário	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0%
setor industrial	29,1	0,0	24,2	14,1	0,0	165,6	216,1	0,0	449,2	37,0%
setor comercial	19,7	0,0	0,0	22,4	0,0	7,0	140,2	0,0	189,3	24,0%
setor transportes	304,5	530,1	1,0	0,2	242,7	31,7	0,0	120,0	1230,2	0,0%
setor de público	5,7	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	46,4	0,0	52,1	7,9%
total	359,1	530,1	25,3	162,2	242,7	210,0	583,9	120,0	2233,4	100%
Fração	16,1%	23,7%	1,1%	7,3%	10,9%	9,4%	26,1%	5,4%	100%	

### 4. ANÁLISE

Antes de se iniciar a análise dos resultados, cabe o alerta ao fato de que a matriz energética obtida para o NUC é parcial. Portanto, não faz sentido se discutir parcelas de consumo de energia entre diferentes energéticos, nem entre os setores. É sabido, por exemplo, que não se utiliza bagaço de cana em região urbana. Quanto à lenha e ao carvão vegetal, o consumo no município sede (Curitiba) é pouco significativo; porém, aumenta à medida que se incorpora os demais territórios do NUC, pois diversas indústrias mais periféricas, mesmo em região urbanizada, utilizam a lenha como fonte de calor (é o caso típico das cimenteiras).

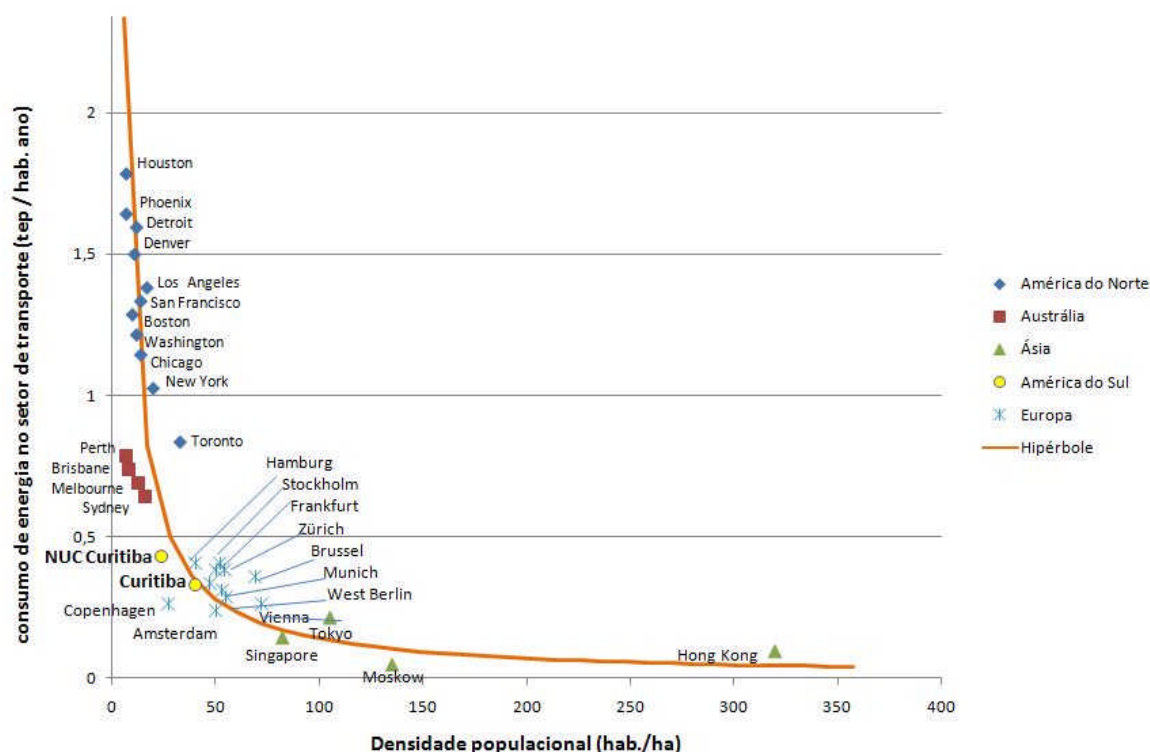
Faz sentido, contudo, comparar-se diversos domínios geográficos com relação aos valores observados do consumo de energia per capita no setor de transportes. Obtém-se, assim, uma progressão conforme apresentado na Tabela 6:

Tabela 6 - cálculo da densidade do uso de energia para transporte

Domínio	Extensão (km <sup>2</sup> )	População (2010)	Densidade populacional (hab./ha, 2010)	Consumo de energia no transporte (1000 tep, 2010)	Consumo per capita de energia no transporte (tep / capita, 2010)
Curitiba	435.5	1751907	40,2	592	0.3379
NUC de Curitiba	1200 (aprox.)	2845397	23,7	1078	0.3789
Paraná	199880	10266737	0,52	5282	0.5145

Estes valores são inseridos no diagrama preparado por Newman e Kenworthy (1989, adaptado na Figura 2.

Figura 2 – Relação entre densidade populacional e consumo de energia no transporte, adaptado de Newman e Kenworthy (1989).



Percebe-se no gráfico como os valores obtidos para Curitiba se inserem entre outras cidades do mundo, lembrando que para as demais cidades o gráfico apresenta valores de 1989, ou seja, com defasagem de mais de 20 anos. Considerando-se mais representativo o NUC do que o município de Curitiba, percebe-se sua inserção entre as cidades australianas e as europeias.

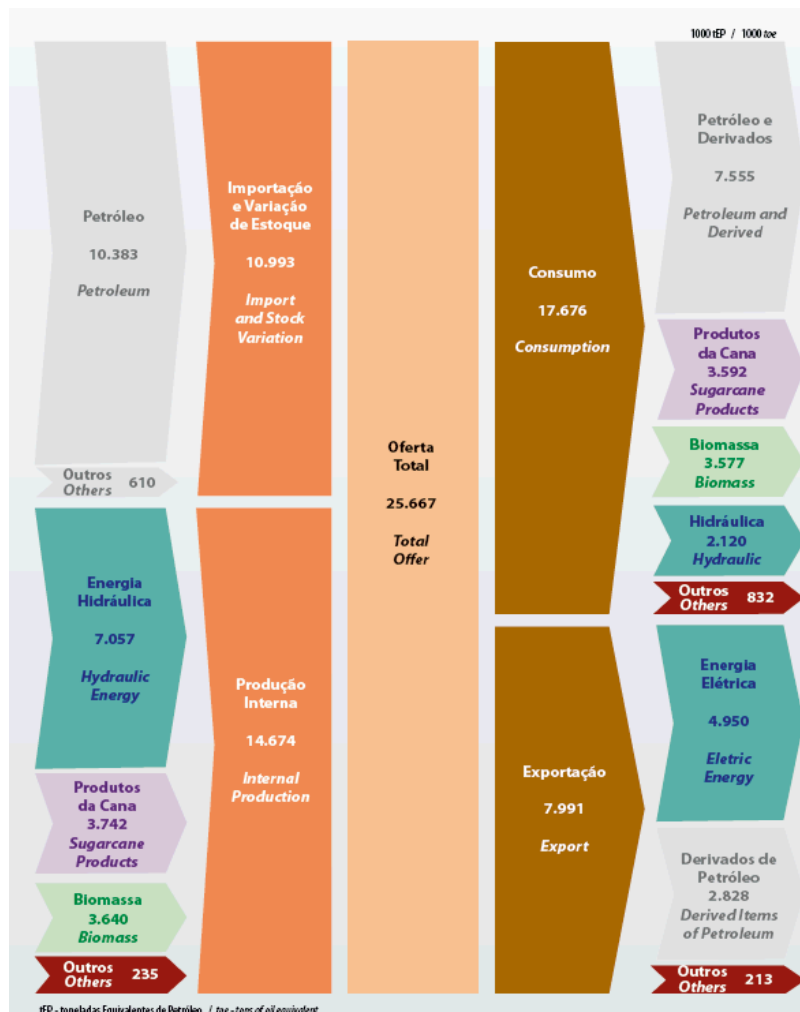
É notável, neste gráfico, o cuidado de se comparar somente a energia despendida no setor de transporte; uma comparação do consumo total de energia traria invariavelmente fatores independentes do planejamento e da gestão urbana de transportes, como por exemplo as diferenças climáticas, acarretando em maior ou menor consumo de energia dentro das edificações para sua climatização.

Embora se mostre uma organização espacial mais eficiente que o estado como um todo, a cidade (Curitiba, na presente análise, mas também qualquer outra cidade com transporte por automóveis de motor a combustão) tem associado ao consumo de energia no transporte o problema da poluição do ar. Sejam de origem renovável (etanol) ou fóssil (gasolina, Diesel e GLP), os energéticos são utilizados na forma de combustão. Sabe-se que a eficiência dos motores a combustão é bastante inferior à das usinas termelétricas, que contam com processos de queima mais controlados, e portanto mais eficientes. Este, em si, já seria um argumento em favor da priorização da eletricidade como forma de propulsão. Outros fatores se sobrepõem:

- as usinas podem ser localizadas fora da cidade, livrando grande parcela da população da poluição do ar;
- a maior parte da eletricidade é de origem hidráulica, portanto renovável ;
- a energia elétrica, no estado, é em razoável parcela exportada.

Este último aspecto merece maior detalhamento. Segundo a COPEL (2012), o Estado é um importador líquido de energia, tendo uma produção de energia de 14.674 tep e uma demanda de 17.676 tep, em 2009. A Figura 3 apresenta a produção e o consumo por energético.

Figura 3 Balanço Global de Energia Primária do Estado do Paraná (COPEL, 2012)



Isso torna patente a dependência do petróleo enquanto a energia elétrica, muito mais limpa, é o principal energético de exportação.



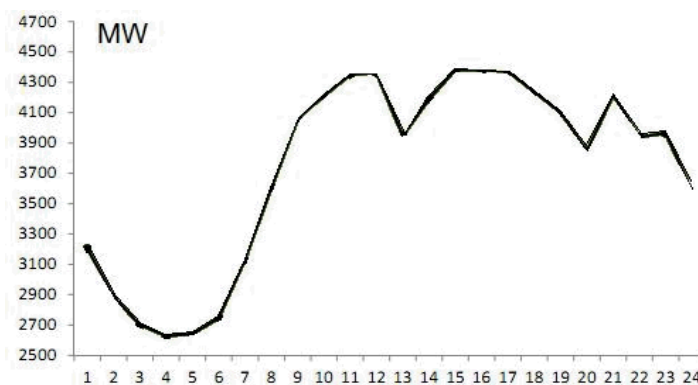
No NUC de Curitiba, assim como no Estado do Paraná, a dependência do petróleo se confirma no consumo de energia chegando ao total de  $1177 \times 10^3$  tep em derivados do petróleo mais as  $210 \times 10^3$  tep de gás natural.

Dos  $304 \times 1000$  tep em óleo Diesel consumidos, através de dados de custo de combustível por quilômetro (R\$ 0,91/km) e distância total mensal de 16 milhões de km dos ônibus públicos municipais qual declarado pela Companhia de Urbanização de Curitiba (URBS, 2011) e do preço médio do combustível de R\$ 2,02/l (ANP, 2011), estima-se ser de  $76 \times 1000$  tep o consumo em tal frota, correspondendo a 25%. O restante do combustível seria utilizado em ônibus particulares, caminhões e outros veículos a Diesel. Isto faz sentido, considerando-se ser o transporte de carga, no Brasil, predominantemente rodoviário. No entanto, se caminhões de carga são abastecidos na cidade e consomem o combustível ao longo de sua viagem nas rodovias, onde deve ser computado tal consumo, se os impactos de poluição e interferência na mobilidade ocorrem longe da cidade?

Desconhece-se a distribuição do consumo de  $530 \times 1000$  tep de gasolina entre carros e motocicletas. É fato que se, no município de Curitiba, existem 13 motocicletas para cada 100 automóveis, nos outros municípios do NUC esta proporção 24 em cada 100, e as distâncias percorridas são tipicamente maiores que no município de Curitiba.

Enfim, merece consideração a curva de demanda diária de energia elétrica para o Sul do Brasil, verão 2011-2012, mostrada à Figura 4, que exhibe a diferença no consumo entre o dia e a madrugada. A utilização da energia disponível e não utilizada durante a madrugada poderia ser útil para o carregamento de baterias para veículos ou mesmo para o transporte público, diminuindo a dependência do petróleo, mais poluente (inclusive se estudada a questão sonora), e não renovável. A desigualdade na curva representa um investimento mal aproveitado, já que há evidência de capacidade ociosa de geração, transmissão e distribuição.

Figura 4 - Demanda diária de energia da Região Sul do Brasil, verão 2011-2012 (ONS, 2012)



Considerando o total exportado pela Paraná em 2009 de 4950 tep em energia elétrica e também o montante consumido em petróleo de 7555 tep, uma postura voltada ao maior consumo de eletricidade em substituição ao petróleo seria adequada, por se tratar de independência energética e por uma fonte menos poluente.

## REFERÊNCIAS

ABRAVA. Boletim mensal publicado em <http://www.dasolabrava.org.br/2011/03/termossolar-um-mercado-quente/>, Acesso em 29/12/2011.

COMPAGAS. Cia. Paranaense de Gás. Comunicação pessoal, 2012.

COPEL. Comunicação pessoal. 2011.

COPEL. **Balanco Energético do Paraná: 2010, exercício 2009**. Disponível em <http://www.copel.com>. Acesso em 09/06/2012.

DETRAN. Dados da frota total de Curitiba disponíveis no **Anuário Estatístico** em <http://www.detran.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=194>. Acesso em 29/12/2011.

ELETOBRAS. Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso 2005. Classe Residencial, região Sul. Disponível em <http://www.procel.gov.br>. Acesso em 23/12/2011.

IPARDES. Banco de dados dos municípios paranaenses. Disponível em <http://www.ipardes.gov.br>. Acesso em 09/06/2012.

KENWORTHY, Jeffrey R.; LAUBE, Felix B. Automobile dependence in cities: an international comparison of urban transport and land use patterns with implications for sustainability. **Environmental Impact Assessment Review**, 16:279-308. 1996.

LE NÉCHET, Florent. Urban spatial structure, daily mobility and energy consumption: a study of 34 European cities. **Cybergeo: European Journal of Geography**. Article 580. Disponível em <http://cybergeo.revues.org/24966>. 2012.

NEWMAN; KENWORTHY, Jeffrey R., Urban density and transport-related energy consumption, 1989, in **Atlas Environment du Monde Diplomatique**, 2007.

ONS. Operador Nacional do Sistema. Curvas de carga disponíveis em [www.ons.org.br](http://www.ons.org.br). Acesso em 02/01/2012.

PARANÁ. Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba – COMEC. **Plano de desenvolvimento integrado da Região Metropolitana de Curitiba**. 2006.

ROBSON, C. Real World Research. Wiley-Blackwell, 2011.

SHABBIR, Rabia; AHMAD, Sheikh S. Monitoring urban transport air pollution and energy demand in Rawalpindi and Islamabad using leap model. **Energy, An International Journal**. Volume 35, Issue 5, Pages 2323-2332. 2010.

URBS. Dados da frota pública de Curitiba disponíveis no Relatório de Gestão de 2011, <http://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/PORTAL/relatorioGestaoURBS.php>. Acesso em 29/12/2011.

## AGRADECIMENTOS

A equipe agradece à Sra. Rosicler do Rocio Brustolin da COPEL pela cessão de dados referentes aos Municípios do NUC de Curitiba. Ainda, agradece ao governo da França pelo apoio ao projeto Ignis Mutat Res, em parceria com universidades de Bordeaux (França) e Cincinnati (EUA), em cujo âmbito se iniciaram estas discussões.