



Contabilidade Ambiental do ABC Paulista Utilizando a Síntese em Emergia

F. Sevegnani ^a, C. M. V. B. Almeida ^b, P. A. Frugoli ^c

a. Universidade Paulista, São Paulo, proffabios@gmail.com

b. Universidade Paulista, São Paulo, cmvbag@unip.br

c. Universidade Paulista, São Paulo, pedrofrugoli@unip.br

Resumo

O grande crescimento da população urbana gera uma grande mudança no estilo de vida, uso da terra, demanda de energia e consequente pressão ambiental. Desta forma, estudos relacionados à sustentabilidade ambiental de sistemas urbanos e disponibilidade de recursos naturais são de grande importância. A síntese em emergia é considerada uma ferramenta poderosa para a contabilidade ambiental, sendo capaz de medir tanto os recursos naturais e humanos para a geração de produtos e serviços. A avaliação através da síntese em emergia de cidades, estados e nações e seus recursos base, fornece uma perspectiva de grande escala para avaliação de áreas ambientais e pode auxiliar na escolha de políticas para benefício público. Este estudo preliminar aplica a síntese em emergia para avaliação da sustentabilidade das cidades que compõem o ABC Paulista, contabilizando os recursos renováveis e comprados que dão suporte a estas cidades. Além disso, é feita uma avaliação dos resultados com base nos PIBs e IDHs de cada município.

Palavras-chave: *Síntese em Emergia, contabilidade ambiental, sustentabilidade ambiental, sistemas urbanos.*

1 Introdução

As cidades podem ser consideradas como organismos centralizadores de diversas atividades, sejam elas comerciais, industriais, sociais, políticas e econômicas sendo que estas representam na biosfera um grande consumidor de recursos e serviços ambientais que muitas vezes não se encontram dentro de seus limites. As cidades necessitam de áreas, pessoas, materiais, conhecimento e diversos outros recursos para que suas atividades sejam realizadas. Assim, as cidades são dependentes em maior ou menor grau de atividades desenvolvidas por outras cidades, muitas vezes bastante distantes, como o plantio de alimentos, produção de combustíveis, tratamento de água, sistema de armazenamento de resíduos sólidos urbanos, formação profissional de pessoas, produção de matérias primas e outras diversas atividades que podem não ser desenvolvidas dentro dos limites do município. A existência e manutenção de uma cidade e sua estrutura interna dependem do fluxo de produtos e serviços para dentro, para fora e através da cidade (Huang et al. 2009). Desta forma, entende-se que existe um fluxo constante de energia, na forma de materiais, pessoas, conhecimento e outros cruzando os limites do município, sendo que estes podem vir de diversas localizações na biosfera.

Utilizando o conceito de contabilidade em emergia é possível contabilizar as trocas

existentes entre o município e o “ambiente externo” de forma a avaliar sua sustentabilidade. É possível avaliar a real riqueza de uma região tendo uma visão mais realista do que a visão proposta pela avaliação econômica através do produto interno bruto (PIB) ou da avaliação social feita pelo índice de desenvolvimento humano (IDH). As abordagens do PIB e do IDH diferem drasticamente da definição de sustentabilidade forte (Giannetti et al. 2010).

Com a emergia é possível a avaliação de sistemas tomando como ponto de vista a definição de sustentabilidade forte que deriva de uma percepção diferente onde a substituição de manufaturados por capital natural é seriamente limitada por características ambientais como irreversibilidade, incerteza e a existência de componentes “críticos” do capital natural, que o tornam uma contribuição única para o bem estar (Daly 1991).

Entendendo que cidades são um tipo especial de sistema ecológico, Odum et al. 1996, sugeriram a necessidade de uma abordagem mais abrangente do ponto de vista da biosfera que fornece recursos e serviços ambientais.

A utilização da contabilidade em emergia já foi explorada por diversos pesquisadores em diversas aplicações, inclusive no estudo de sistemas urbanos. A cidade de Roma foi estudada de forma similar por Ascione et al. 2009 e comparada com os valores da Itália. Zhang et al. 2009, estudaram o metabolismo urbano da cidade de Pequim baseados na síntese em emergia. Lei et al. 2008, avaliaram o sistema dinâmico urbano e econômico de Macao. Huang 1998, desenvolveu padrões de indicadores para avaliar a sustentabilidade urbana de Taiwan. Um padrão integrado para estudos regionais tomando como base a província de Cagliari na Itália através de uma análise espacial baseada em emergia foi desenvolvida por Pulselli et al. 2007.

O ABC Paulista é composto por três municípios: Santo André, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul. O ABC é importante pólo industrial, tecnológico e de moradia sendo uma região de suporte bastante importante da Grande São Paulo, merecendo um estudo mais abrangente com relação à sustentabilidade ambiental. Este trabalho apresenta um estudo preliminar de sustentabilidade do ABC Paulista utilizando a contabilidade em emergia para avaliar as entradas de recursos locais renováveis e comprados necessárias para a manutenção das atividades urbanas. Ao final é feita uma avaliação dos resultados com base nos PIBs e IDHs de cada município.

2 Metodologia

Odum frisa que a contabilidade em emergia é um sistema de avaliação com base científica capaz de representar tanto valores ambientais e econômicos em uma métrica comum.

Emergia, escrita com 'm', é a memória de energia ou o total de energia incorporada em um produto ou serviço. É definida como a soma de toda energia necessária direta ou indiretamente para gerar um produto ou serviço (Odum 1996). As contribuições de energia para gerar um produto ou serviço são expressas em uma base comum (equivalente solar em Joule, seJ) permitindo sua contabilização. A transformidade mede a relação entre emergia e energia, sendo que é a emergia necessária para obter 1 J de um produto ou serviço direta ou indiretamente (Giannetti et al. 2006). Neste caso sua unidade é seJ/J. Em alguns casos a transformidade pode ser calculada como a emergia necessária para obter uma unidade de produto ou serviço. Como por exemplo, a emergia necessária para gerar um quilograma de algum material. Neste outro caso sua unidade seJ/kg é denominada emergia específica.

A contabilidade em energia é iniciada através da construção de um diagrama de fluxos de energia (fig. 1) identificando diversos fluxos de recursos que cruzam a fronteira do sistema. A construção do diagrama é realizada com a utilização de símbolos específicos que padronizam sua confecção. No diagrama são identificados fluxos de recursos renováveis (R), não renováveis (N) e importados (F). Os recursos R e N são fornecidos pelo ambiente de forma economicamente gratuita. No entanto os recursos R só podem ser considerados renováveis se estiverem sendo consumidos em velocidade menor que a de sua reposição. A água, por exemplo, dependendo da situação, pode não ser um recurso renovável se a velocidade com que está sendo consumida superar a velocidade de reposição. De forma análoga, os recursos N são consumidos mais rapidamente que a sua velocidade de reposição. Os recursos F são recursos economicamente adquiridos e podem ser contabilizados em unidade monetária, que pode ser transformada em equivalente de energia (seJ), tornando assim possível a comparação com outros fluxos (Odum 1996). O próximo passo da contabilidade em energia é a montagem das tabelas dos fluxos de energia. A montagem das tabelas é feita com base nos recursos mostrados no diagrama.

O Produto Interno Bruto (PIB) é uma métrica que reconhece o crescimento econômico como uma força direcionadora do desenvolvimento sustentável (Beckermann, 1992). O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é uma métrica social que considera o desenvolvimento sustentável ligado ao desenvolvimento humano. Nela estão inclusos expectativa de vida, representado uma vida longa e saudável; conhecimento contabilizado pelo alfabetismo adulto e combinado com matrículas em níveis educacionais primários, secundários e terciários e um padrão de vida adequado representado pelo PIB (PNUD).

3 Resultados e discussão

O diagrama (fig. 1) mostra os fluxos de recursos naturais renováveis (R) que são chuva, vento e sol. São mostrados os recursos naturais não renováveis (N) na forma de estoques como o de água represada por exemplo. No município de São Bernardo do Campo existe a represa Billings que dá suporte de fornecimento de água para diversos municípios da região da grande São Paulo. Os municípios compram recursos de fora de suas fronteiras e estes recursos importados (F) são mostrados no diagrama como água, combustíveis e eletricidade, produtos e maquinários e serviços. Além disso, a cidade recebe um fluxo de trabalhadores e imigrantes. À direita no diagrama são ilustradas as transações financeiras entre os municípios e o mercado externo aos municípios. Dentro dos limites dos municípios são mostradas as infra-estruturas de atividades urbanas representadas pelo ambiente construído e naturais representada pelos sistemas naturais e áreas reservadas. São mostradas também atividades que são realizadas dentro da própria cidade com o objetivo de atender às necessidades do município no que tange a tratamento de água e destinação de resíduos provenientes das atividades desenvolvidas. As atividades industriais e de manufatura se utilizam do ambiente construído e de praticamente todos os itens que cruzam a fronteira do sistema gerando produtos que serão então exportados para outras localidades fora do sistema. Todas estas atividades geram movimentação de capital que é representado como um estoque dentro do sistema estudado.

As tabelas 1, 2 e 3 mostram os fluxos de energia de cada município do ABC Paulista e a tabela 4 apresenta a contabilidade em energia para o ABC como um todo. No apêndice é exibida a memória de cálculo do valor bruto da energia de cada um dos recursos renováveis e comprados para o município de Santo André que deu origem aos valores da mesma. O cálculo para São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul é o mesmo mudando apenas os dados específicos de cada município. Fluxos identificados com (*) provêm da mesma fonte e não foram contabilizados para evitar dupla contagem (Odum 1996). Os recursos renováveis

são compostos pelos itens 2 e 3, chamados água total (NEAD 2011). Os recursos comprados correspondem à soma dos itens 6 até 8.

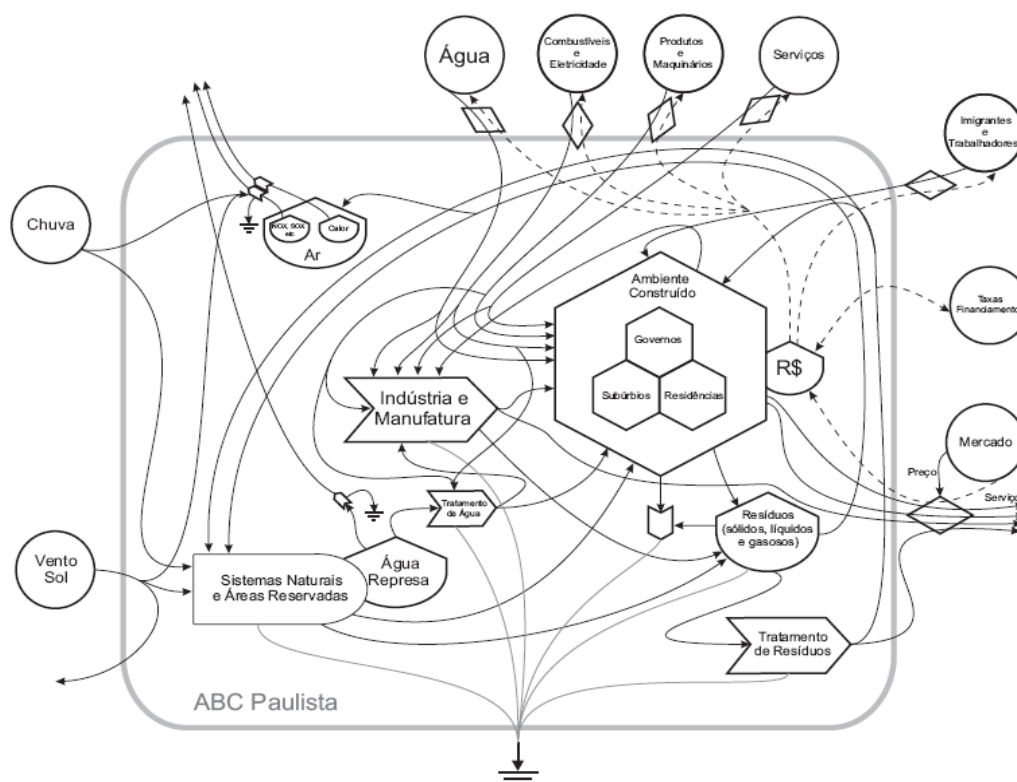


Fig. 1. Diagrama dos fluxos de energia do ABC Paulista

Tabela 1 – Contabilidade em energia de Santo André

| Item | Descrição | Unidade | Valor Bruto | Transformidade (seJ/unidade) | Energia (seJ/ano) | Ref. |
|---|----------------------|---------------------|-----------------------|------------------------------|---|------------------------|
| Renováveis (R) | | | | | | |
| 1(*) | Energia Solar | J/ano | $7,55 \times 10^{17}$ | 1 | $7,55 \times 10^{17}$ | Odum, 1996 |
| 2 | Chuva (Química) | J/ano | $2,68 \times 10^{15}$ | $3,05 \times 10^4$ | $8,17 \times 10^{19}$ | Odum, 1996 |
| 3 | Chuva (Geopotencial) | J/ano | $2,60 \times 10^{15}$ | $4,70 \times 10^4$ | $1,22 \times 10^{20}$ | Odum, 1996 |
| 4(*) | Vento | J/ano | $3,33 \times 10^{14}$ | $2,45 \times 10^3$ | $8,17 \times 10^{17}$ | Odum, 1996 |
| 5 | Calor Geotérmico | J/ano | $2,98 \times 10^{14}$ | $5,80 \times 10^4$ | $1,73 \times 10^{19}$ | Odum, 1996 |
| Total de recursos renováveis (R) | | | | | $2,21 \times 10^{20}$ | |
| Comprados (F) | | | | | | |
| 6 | Combustíveis | | | | | |
| 6a | Gás Natural | J/ano | $1,14 \times 10^{16}$ | $8,06 \times 10^4$ | $9,20 \times 10^{20}$ | Odum, 1996 |
| 6b | Gasolina | J/ano | $4,63 \times 10^{15}$ | $6,60 \times 10^4$ | $3,06 \times 10^{20}$ | Giannetti et al., 2006 |
| 6c | Óleo Diesel | J/ano | $2,23 \times 10^{15}$ | $1,11 \times 10^5$ | $2,48 \times 10^{20}$ | Odum, 1996 |
| 6d | Etanol | J/ano | $2,15 \times 10^{15}$ | $4,87 \times 10^4$ | $1,04 \times 10^{20}$ | Pereira et al., 2009 |
| 7 | Eletricidade | J/ano | $9,97 \times 10^{15}$ | $2,77 \times 10^5$ | $2,76 \times 10^{21}$ | Odum, 1996 |
| 8 | Água tratada | m ³ /ano | $5,84 \times 10^{07}$ | $7,75 \times 10^{11}$ | $4,53 \times 10^{19}$ | Buenfil, 2001 |
| Total de recursos comprados (F) | | | | | $4,38 \times 10^{21}$ | |

Tabela 2 – Contabilidade em energia de São Bernardo do Campo

| Item | Descrição | Unidade | Valor Bruto | Transformidade (seJ/unidade) | Energia (seJ/ano) | Ref. |
|-----------------------|-----------------|---------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------|
| Renováveis (R) | | | | | | |
| 1(*) | Energia Solar | J/ano | $1,75 \times 10^{18}$ | 1 | $1,75 \times 10^{18}$ | Odum, 1996 |
| 2 | Chuva (Química) | J/ano | $3,08 \times 10^{15}$ | $3,05 \times 10^4$ | $9,40 \times 10^{19}$ | Odum, 1996 |
| 3 | Chuva | J/ano | $3,08 \times 10^{15}$ | $4,70 \times 10^4$ | $1,45 \times 10^{20}$ | Odum, 1996 |

| (Geopotencial) | | | | | | |
|---|------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|---|------------------------|
| 4(*) | Vento | J/ano | $7,73 \times 10^{14}$ | $2,45 \times 10^{03}$ | $1,89 \times 10^{18}$ | Odum, 1996 |
| 5 | Calor Geotérmico | J/ano | $6,91 \times 10^{14}$ | $5,80 \times 10^{04}$ | $4,01 \times 10^{19}$ | Odum, 1996 |
| Total de recursos renováveis (R) | | | | | $2,79 \times 10^{20}$ | |
| Comprados (F) | | | | | | |
| 6 | Combustíveis | | | | | |
| 6a | Gás Natural | J/ano | $4,05 \times 10^{15}$ | $8,06 \times 10^{04}$ | $3,26 \times 10^{20}$ | Odum, 1996 |
| 6b | Gasolina | J/ano | $4,93 \times 10^{15}$ | $6,60 \times 10^{04}$ | $3,25 \times 10^{20}$ | Giannetti et al., 2006 |
| 6c | Óleo Diesel | J/ano | $5,22 \times 10^{15}$ | $1,11 \times 10^{05}$ | $5,79 \times 10^{20}$ | Odum, 1996 |
| 6d | Etanol | J/ano | $2,21 \times 10^{15}$ | $4,87 \times 10^{04}$ | $1,07 \times 10^{20}$ | Pereira et al., 2009 |
| 7 | Eletricidade | J/ano | $9,53 \times 10^{15}$ | $2,77 \times 10^{05}$ | $2,64 \times 10^{21}$ | Odum, 1996 |
| 8 | Água tratada | m ³ /ano | $7,03 \times 10^{07}$ | $7,75 \times 10^{11}$ | $5,45 \times 10^{19}$ | Buenfil, 2001 |
| Total de recursos comprados (F) | | | | | $4,03 \times 10^{21}$ | |

Os resultados das tabelas de 1 a 4 mostram que a energia total do ABC Paulista é composta pela contribuição de três municípios. São Bernardo do Campo e Santo André contribuem com parcelas similares (44% e 47%, respectivamente), e São Caetano do Sul, o menor em área, contribui com os 9% restantes. Dentre os recursos renováveis contabilizados (chuva e calor geotérmico), a chuva contribui com a operação deste centro urbano com mais de 85% seJ/seJ e cada município recebe de 8% até 14% de recursos renováveis na forma de calor geotérmico. Dentre os recursos comprados, combustíveis e eletricidade são as entradas mais importantes. A eletricidade representa 65% do total de energia do ABC e entre os combustíveis (34% seJ/seJ), o gás natural é a principal entrada correspondendo a 14% da energia total.

Tabela 3 – Contabilidade em energia de São Caetano do Sul

| Item | Descrição | Unidade | Valor Bruto | Transformidade (seJ/unidade) | Energia (seJ/ano) | Ref. |
|---|----------------------|---------------------|-----------------------|------------------------------|---|------------------------|
| Renováveis (R) | | | | | | |
| 1(*) | Energia Solar | J/ano | $6,47 \times 10^{16}$ | 1 | $6,47 \times 10^{16}$ | Odum, 1996 |
| 2 | Chuva (Química) | J/ano | $9,78 \times 10^{13}$ | $3,05 \times 10^{04}$ | $2,98 \times 10^{18}$ | Odum, 1996 |
| 3 | Chuva (Geopotencial) | J/ano | $1,84 \times 10^{14}$ | $4,70 \times 10^{04}$ | $8,66 \times 10^{18}$ | Odum, 1996 |
| 4(*) | Vento | J/ano | $2,86 \times 10^{13}$ | $2,45 \times 10^{03}$ | $7,00 \times 10^{16}$ | Odum, 1996 |
| 5 | Calor Geotérmico | J/ano | $2,55 \times 10^{13}$ | $5,80 \times 10^{04}$ | $1,48 \times 10^{18}$ | Odum, 1996 |
| Total de recursos renováveis (R) | | | | | $1,31 \times 10^{19}$ | |
| Comprados (F) | | | | | | |
| 6 | Combustíveis | | | | | |
| 6a | Gás Natural | J/ano | $8,43 \times 10^{14}$ | $8,06 \times 10^{04}$ | $6,79 \times 10^{19}$ | Odum, 1996 |
| 6b | Gasolina | J/ano | $1,53 \times 10^{15}$ | $6,60 \times 10^{04}$ | $1,01 \times 10^{20}$ | Giannetti et al., 2006 |
| 6c | Óleo Diesel | J/ano | $7,04 \times 10^{14}$ | $1,11 \times 10^{05}$ | $7,81 \times 10^{19}$ | Odum, 1996 |
| 6d | Etanol | J/ano | $7,84 \times 10^{14}$ | $4,87 \times 10^{04}$ | $3,82 \times 10^{19}$ | Pereira et al., 2009 |
| 7 | Eletricidade | J/ano | $2,28 \times 10^{15}$ | $2,77 \times 10^{05}$ | $6,31 \times 10^{20}$ | Odum, 1996 |
| 8 | Água tratada | m ³ /ano | $1,32 \times 10^{07}$ | $7,75 \times 10^{11}$ | $1,02 \times 10^{19}$ | Buenfil, 2001 |
| Total de recursos comprados (F) | | | | | $9,26 \times 10^{20}$ | |

Tabela 4 – Contabilidade em energia do ABC Paulista

| Item | Descrição | Unidade | Valor Bruto | Transformidade (seJ/unidade) | Energia (seJ/ano) | Ref. |
|----------------|-----------------|---------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------|
| Renováveis (R) | | | | | | |
| 1(*) | Energia Solar | J/ano | $2,57 \times 10^{18}$ | 1 | $6,47 \times 10^{18}$ | Odum, 1996 |
| 2 | Chuva (Química) | J/ano | $5,86 \times 10^{15}$ | $3,05 \times 10^{04}$ | $2,98 \times 10^{20}$ | Odum, 1996 |

| | | | | | | |
|---|----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|---|------------------------|
| 3 | Chuva (Geopotencial) | J/ano | $5,86 \times 10^{15}$ | $4,70 \times 10^{04}$ | $8,66 \times 10^{20}$ | Odum, 1996 |
| 4(*) | Vento | J/ano | $1,13 \times 10^{15}$ | $2,45 \times 10^{03}$ | $7,00 \times 10^{18}$ | Odum, 1996 |
| 5 | Calor Geotérmico | J/ano | $1,01 \times 10^{15}$ | $5,80 \times 10^{04}$ | $1,48 \times 10^{19}$ | Odum, 1996 |
| Total de recursos renováveis (R) | | | | | $1,31 \times 10^{20}$ | |
| Comprados (F) | | | | | | |
| 6 | Combustíveis | | | | | |
| 6a | Gás Natural | J/ano | $1,63 \times 10^{16}$ | $8,06 \times 10^{04}$ | $1,31 \times 10^{21}$ | Odum, 1996 |
| 6b | Gasolina | J/ano | $1,11 \times 10^{16}$ | $6,60 \times 10^{04}$ | $7,33 \times 10^{20}$ | Giannetti et al., 2006 |
| 6c | Óleo Diesel | J/ano | $8,15 \times 10^{15}$ | $1,11 \times 10^{05}$ | $9,05 \times 10^{20}$ | Odum, 1996 |
| 6d | Etanol | J/ano | $5,14 \times 10^{15}$ | $4,87 \times 10^{04}$ | $2,50 \times 10^{20}$ | Pereira et al., 2009 |
| 7 | Eletricidade | J/ano | $2,18 \times 10^{16}$ | $2,77 \times 10^{05}$ | $6,04 \times 10^{21}$ | Odum, 1996 |
| 8 | Água tratada | m ³ /ano | $1,42 \times 10^{08}$ | $7,75 \times 10^{11}$ | $1,10 \times 10^{20}$ | Buenfil, 2001 |
| Total de recursos comprados (F) | | | | | $9,35 \times 10^{21}$ | |

Analisando os dados do gráfico contido na fig. 2, fica claro que os municípios dependem muito mais dos recursos comprados (F) do que de seus próprios recursos renováveis. A porcentagem de contribuição de recursos renováveis é de menos de 7% seJ/seJ para todos os municípios. Esta é uma característica comum de centros urbanos que concentram atividades que necessitam de recursos provenientes de várias localizações vindos de fora de seus limites.

Energia anual dos municípios do ABC Paulista

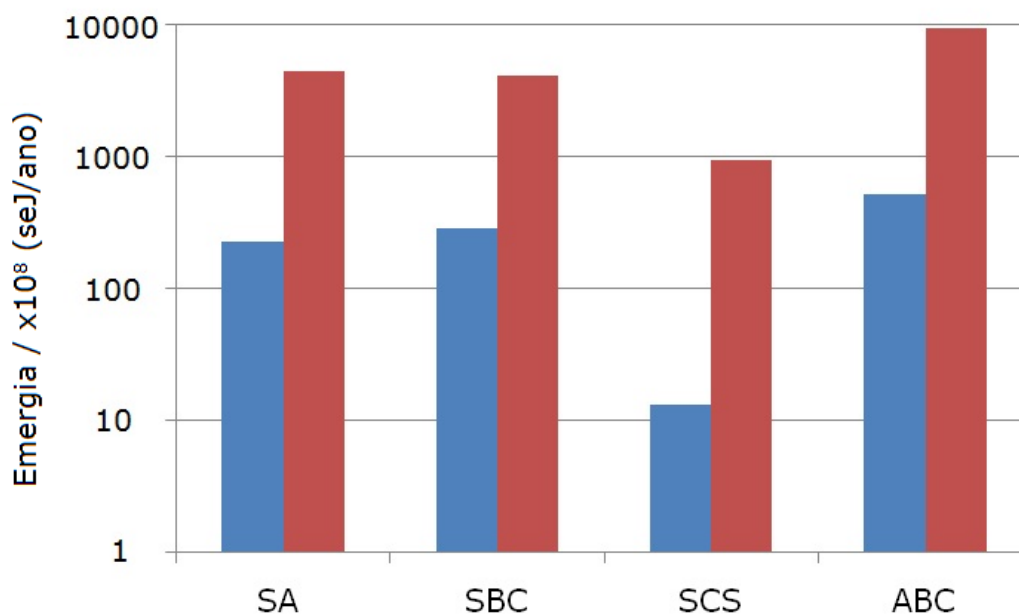


Fig. 2. Valores totais de energia anual de recursos renováveis (R) e comprados (F) para os municípios do ABC Paulista, onde SA = Santo André, SBC = São Bernardo do Campo e SCS = São Caetano do Sul

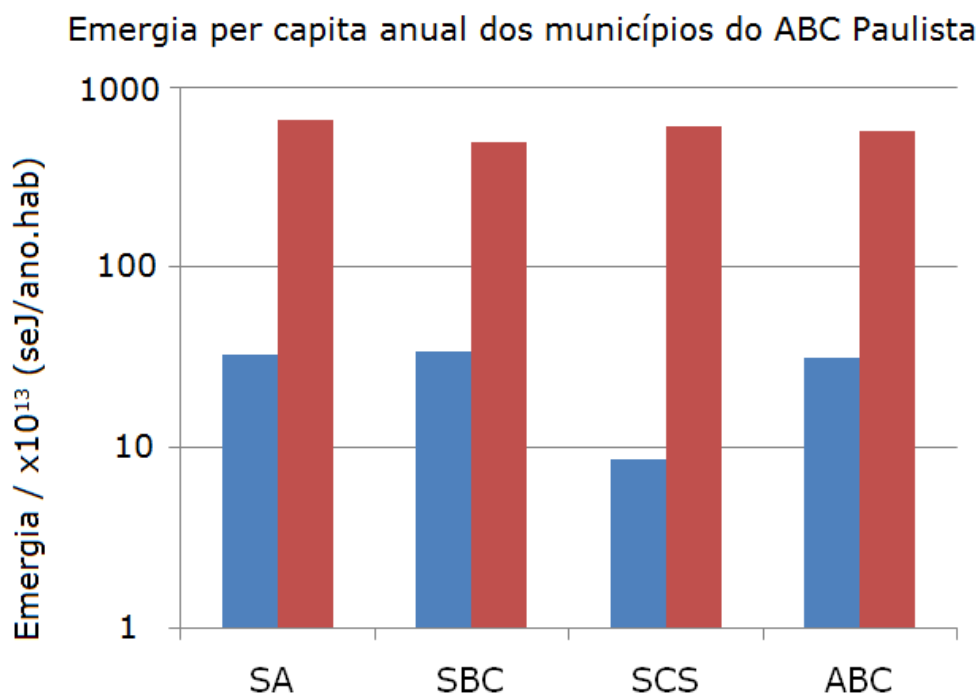


Fig. 3. Valores de energia per capita anual de recursos renováveis (R) e comprados (F) para os municípios do ABC Paulista, onde SA = Santo André, SBC = São Bernardo do Campo e SCS = São Caetano do Sul

Considerando a população de cada município, através do gráfico contido na fig. 3, pode-se observar que a população de São Caetano do Sul recebe menos recursos renováveis que os habitantes de Santo André e São Bernardo do Campo, que são mais populosos. O município de São Caetano do Sul é medianamente industrializado e possivelmente o alto valor de recursos comprados compensa a baixa entrada de recursos naturais. Além disso, Santo André e São Bernardo do Campo são altamente industrializados e parte dos recursos comprados é usada diretamente pela indústria e não pode ser visto como fator de benefício para suas populações. Santo André e São Bernardo do Campo recebem mais entradas renováveis do que São Caetano do Sul, pois a represa Billings está localizada em seus territórios.

Os valores do Produto Interno Bruto (PIB) e o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) para os municípios do ABC Paulista são apresentados na tabela 5. Observando os valores de ambos, pode-se perceber que a interpretação às vistas do desenvolvimento feitas pelo PIB e pelo IDH confrontada com a interpretação às vistas da sustentabilidade feita pela contabilidade ambiental em energia é bastante díspar. Tomando como exemplo de interpretação o município de São Caetano do Sul, verifica-se que o IDH é bastante alto e que o PIB per capita é o maior dos três municípios que compõem o ABC Paulista. Porém, sob o ponto de vista da contabilidade ambiental em energia, este município é o que menos se beneficia em termos de energia per capita vinda de recursos renováveis (fig. 3).

Tabela 5 – Valores de PIB e IDH para os municípios do ABC Paulista (IBGE e PNUD)

| Município | PIB (2008) (mil reais R\$) | PIB (2008) per capita (R\$) | IDH (2000) |
|-----------------------|----------------------------|-----------------------------|------------|
| Santo André | 13.446.559 | 20.018,82 | 0,835 |
| São Bernardo do Campo | 29.872.572 | 37.267,11 | 0,834 |
| São Caetano do Sul | 10.178.501 | 67.361,35 | 0,919 |

4 Conclusões

Este trabalho contabiliza os recursos renováveis (R) e comprados (F) para os municípios pertencentes ao ABC Paulista. Os resultados mostram que as cidades, que são entendidas como organismos centralizadores de diversas atividades, dependem de uma área de suporte maior do que sua própria área para manter suas atividades. Quando se trata do uso de recursos fornecidos pela biosfera, é possível organizar as cidades em ordem decrescente como segue: São Bernardo do Campo, Santo André e São Caetano do Sul. Quanto à disponibilidade de recursos renováveis para a população de cada município, foi constatado que a população de São Caetano do Sul usufrui de menos benefícios comparada com a população de outros municípios. Foi notado também que a parcela de energia renovável per capita de Santo André é ligeiramente menor que a de São Bernardo do Campo. No entanto, São Caetano do Sul tem aproximadamente quatro vezes menos recursos renováveis per capita que os outros dois municípios que formam o ABC Paulista.

Os valores de PIB e IDH dos municípios do ABC Paulista são comparáveis aos valores encontrados para países vistos como desenvolvidos que de forma similar utilizam muitos recursos comprados (F) para sustentar suas atividades. Por outro lado, dentro do contexto brasileiro em que a porcentagem de renováveis é bastante alta para a maioria dos municípios, os municípios do ABC Paulista podem ser comparados apenas aos grandes centros urbanos brasileiros sendo que os valores encontrados (tanto PIB e IDH quanto %R utilizados) não representam a média dos municípios brasileiros.

5 Referências

Ascione, M., Campanella L., Cherubini, F., Ulgiati, S., Environmental driving forces of urban growth and development. An emergy-based assessment of the city of Rome, Italy. *Landscape and Urban Planning* 93, 2009, 238-249.

Buenfil, A.A. Emery Evaluation of water. 248 p. Thesis – University of Florida, USA, 2001.

Beckermann, W., 1992. Economic growth and the environment: whose growth? Whose environment? *World Development* 20, 481–496.

Daly, H.E., *Elements of environmental macroeconomics*, Columbia University Press, New York 1991. In: Costanza, R. (Ed.), *Ecological Economics: the Science and Management of Sustainability*.

Giannetti, B.F., Barella, F.A., Almeida, C.M.V.B., A combined tool for environmental scientists and decision makers: ternary diagrams and emery accounting. *Journal of Cleaner Production* 14, 2006, 201-210.

Giannetti, B.F., Almeida, C.M.V.B., Bonilla, S.H., Comparing emery accounting with well-known sustainability metrics: The case of Southern Cone Common Market, Mercosur. *Energy Policy* 38, 2010, 3518-3526.

Huang, S.-L., Urban ecosystems, energetic hierarchies, and ecological economics of Taipei metropolis. *Journal of Environmental Management* 52, 1998.

Huang, S.-L., Chen, C.-W., Urbanization and Socioeconomic Metabolism in Taipei, *Journal of Industrial Ecology* 13, 2009, 75-93.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia Estatística, www.ibge.gov.br última consulta Março/2011.

Lei, K., Wang, Z., Ton, S., Holistic emery analysis of Macao. *Ecological Engineering* 32, 2008, 30-43.

NEAD – National Environmental Accounting Database - http://sahel.ees.ufl.edu/frame_database_resources_test.php?search_type=basic&country=BRA última consulta Março/2011.

Odum, H.T., Environmental Accounting: Energy and Environmental Decision Making, John Wiley, 1996, 1, 182.

Pereira, C.L.F., Ortega, E., Sustainability assessment of large-scale ethanol production from sugarcane. Journal of Cleaner Production, 2009, 1-6

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - <http://hdr.undp.org/en/reports/global/hdr2000/> última consulta Março/2011.

Pulselli, R. M., Rustici, M., Marchettini, N., An integrated framework for regional studies: Energy based spatial analysis of the province of Cagliari. Environmental Monitoring and Assessment 133, 2007, 1-13.

Zhang, Y., Yang, Z., Yu, X., Evaluation of urban metabolism based on energy synthesis: A case study for Beijing (China). Ecological Modelling 220, 2009, 1690-1696.

Apêndice

Abaixo é apresentada a memória de cálculo referente aos dados da tabela 2.

Item 1- Cálculo da energia solar de acordo com a eq. 1:

Energia (J) = (área do município) x (insolação média) x (transform. de cm² para m²) (1-albedo) x (transformação de J para kcal) (1)

$$\text{Energia (J)} = (1,75\text{E}+08\text{m}^2) \times (1,32\text{E}+02 \frac{\text{cm}^2}{\text{ano}}) \times (1,00\text{E}+04 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}^2}) \times (1-0,22) \times (4186 \frac{\text{J}}{\text{kcal}}) \quad \text{Energia (J)} = 7,55\text{E}+17 \frac{\text{J}}{\text{ano}}$$

Item 2- Cálculo da energia química da chuva conforme eq. 2:

Energia (J) = (área do município) x (precipitação média descontada a evaporação) x (densidade da água) x (energia livre de Gibbs)* (2)

* estimativa de 20% de evaporação

$$\text{Energia (J)} = (1,75\text{E}+08\text{m}^2) \times (0,8 \times 3,1 \frac{\text{m}}{\text{ano}}) \times (1,00\text{E}+03 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) \times (4,94\text{E}+03 \frac{\text{J}}{\text{kg}}) \quad \text{Energia (J)} = 2,68\text{E}+15 \frac{\text{J}}{\text{ano}}$$

Item 3- Cálculo da energia geopotencial da chuva conforme eq. 3:

Energia (J) = (área do município) x (precipitação média) x (% de run-off) x (elevação média) x (aceleração da gravidade) (3)

$$\text{Energia (J)} = (1,75\text{E}+08\text{m}^2) \times (3,1 \frac{\text{m}}{\text{ano}}) \times (0,64) \times (760\text{m}) \times (9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) \quad \text{Energia (J)} = 2,60\text{E}+15 \frac{\text{J}}{\text{ano}}$$

Item 4- Cálculo da energia cinética do vento conforme eq. 4:

Energia (J) = (área do município) x (densidade do ar) x (coeficiente de arrasto) x (velocidade³) x (transform. de anos para segundos) (4)

$$\text{Energia (J)} = (1,75\text{E}+08\text{m}^2) \times (1,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) \times (1,00\text{E}-03) \times ((3,6 \frac{\text{m}}{\text{s}})^3) \times (3,14\text{E}+07 \frac{\text{s}}{\text{ano}}) \quad \text{Energia (J)} = 3,33\text{E}+14 \frac{\text{J}}{\text{ano}}$$

Item 5- Cálculo do calor geotérmico conforme eq. 5:

$$\text{Energia (J)} = (\text{área do município}) \times (\text{fluxo de calor profundo}) \quad (5)$$

$$\text{Energia (J)} = (1,75\text{E}+08 \text{m}^2) \times (1,70\text{E}+06 \frac{\text{ano}}{\text{m}^2}) \quad \text{Energia (J)} = 2,98\text{E}+14 \frac{\text{J}}{\text{ano}}$$

Item 6- Cálculo da energia dos diversos combustíveis conforme eq. 6:

$$\text{Energia (J)} = (\text{consumo}) \times (\text{poder calorífico}) \times (\text{transform. de J para kcal}) \quad (6)$$

Item 6a- Cálculo da energia do gás natural conforme a eq. 6:

$$\text{Energia (J)} = (3,10\text{E}+08 \frac{\text{m}^3}{\text{ano}}) \times (8800 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3}) \times (4186 \frac{\text{J}}{\text{kcal}}) \quad \text{Energia (J)} = 1,14\text{E}+16 \frac{\text{J}}{\text{ano}}$$

Item 6b- Cálculo da energia da gasolina conforme a eq. 6:

$$\text{Energia (J)} = (1,41\text{E}+08 \frac{\text{L}}{\text{ano}}) \times (7844,2 \frac{\text{kcal}}{\text{L}}) \times (4186 \frac{\text{J}}{\text{kcal}}) \quad \text{Energia (J)} = 4,63\text{E}+15 \frac{\text{J}}{\text{ano}}$$

Item 6c- Cálculo da energia do óleo diesel conforme a eq. 6:

$$\text{Energia (J)} = (2,23\text{E}+15 \frac{\text{L}}{\text{ano}}) \times (8605,2 \frac{\text{kcal}}{\text{L}}) \times (4186 \frac{\text{J}}{\text{kcal}}) \quad \text{Energia (J)} = 2,23\text{E}+15 \frac{\text{J}}{\text{ano}}$$

Item 6d- Cálculo da energia do etanol conforme a eq. 6:

$$\text{Energia (J)} = (1,01\text{E}+08 \frac{\text{L}}{\text{ano}}) \times (5096,7 \frac{\text{kcal}}{\text{L}}) \times (4186 \frac{\text{J}}{\text{kcal}}) \quad \text{Energia (J)} = 2,15\text{E}+15 \frac{\text{J}}{\text{ano}}$$

$$\text{Energia total dos combustíveis (J)} = 2,04\text{E}+16 \frac{\text{J}}{\text{ano}}$$

Item 7- Cálculo da energia da eletricidade conforme a eq. 7:

$$\text{Energia (J)} = (\text{consumo}) \times (\text{transform. de J para kWh}) \quad (7)$$

$$\text{Energia (J)} = (2,77\text{E}+09 \frac{\text{kWh}}{\text{ano}}) \times (3,60\text{E}+06 \frac{\text{J}}{\text{kWh}}) \quad \text{Energia (J)} = 9,97\text{E}+15 \frac{\text{J}}{\text{ano}}$$

Item 8- Cálculo da energia da água tratada conforme a eq. 8:

$$\text{Energia (J)} = (\text{consumo médio por hab.}) \times (\text{transform. de L para m}^3) \times (365 \text{ dias por ano}) \times (\text{população}) \quad (8)$$

$$\text{Energia (J)} = (2,38\text{E}+02 \frac{\text{L}}{\text{dia}}) \times (1\text{E}-03 \frac{\text{m}^3}{\text{L}}) \times (365 \frac{\text{dias}}{\text{yr}}) \times (6,73\text{E}+05 \text{ hab}) \quad \text{Energia (J)} = 5,84\text{E}+07 \frac{\text{m}^3}{\text{ano}}$$