

Pegada Ecológica: instrumento de análise do metabolismo do sócio-ecossistema urbano

Ana Maria Feitosa Leite, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA)

Manuel-Osório de Lima Viana, Programa Regional de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA).
Universidade Federal do Ceará (UFC).

SUMÁRIO: A sociedade humana vive, no início do século XXI, em sua maioria, nas cidades. O funcionamento do metabolismo do sócio-ecossistema urbano necessita de um *input* de bens e serviços, oriundos de outros ecossistemas, e gera um *output* de resíduos das atividades humanas. Em 1996, Wackernagel e Rees introduziram o método da “pegada ecológica”, que calcula, em hectares, as quantidades de terra e água produtivas necessárias para a obtenção de tais recursos e a absorção dos resíduos. No presente trabalho, tais procedimentos metodológicos referiram-se à área geográfica da Região Metropolitana de Fortaleza (Aquiraz, Caucaia, Eusébio, Pacatuba, Fortaleza, Itaitinga, Maranguape, Maracanaú e Guaiúba), ao ano base de 1996, à população de 2.582.820 habitantes e seu consumo. O padrão de consumo da RMF foi dividido em três categoriais: consumo endossomático de matéria e energia, uso exossomático e outros consumos.

A análise revelou que a pegada ecológica *per capita* era de 2,94 ha, e que os municípios estudados demandam uma área de 22,4 vezes sua própria área, para a provisão de recursos e absorção dos resíduos sólidos gerados.

ABSTRACT: In the beginning of the 21st century, the majority of human society lives in the cities. The functioning of the urban socio-ecosystem metabolism needs an input of goods and services arising from other ecosystems, and generates an output of residues from human activities. In 1996, Wackernagel and Rees introduced the method of the “ecological footprint” which estimates in hectares or acres the quantities of productive land and water needed for obtaining resources and absorbing residues. In the present

work, such a methodology refers to the geographic area of the Metropolitan Region of Fortaleza, Brazil, its 2,582,820 inhabitants and their consumption, in 1996. This consumption pattern was divided into three categories: endosomatic consumption of materials and energy, exosomatic use, and other consumption. The analysis revealed that the region *per capita* ecological footprint was around 2.94 ha, and those nine municipalities demanded an area which was 22 times their own area, for the purveyance of resources and absorption of solid wastes.

Palavras-chave: sócio-ecossistema urbano, sustentabilidade biofísica, indicador de sustentabilidade, pegada ecológica.

1. INTRODUÇÃO

A sociedade humana, depois de passar por sucessivos estádios de evolução, vive, hoje, na sua maioria, em cidades. A cidade, sócio-ecossistema urbano, dá ao cidadão a impressão de libertação da natureza, de forma que suas necessidades materiais e imateriais seriam atendidas a partir de um espaço restrito e por elementos que nada deveriam ao ecossistema natural. Funcionalmente, porém, representa um sistema aberto, ou seja, é altamente dependente de outros ecossistemas, com os quais interage através do fluxo de energia e circulação de matéria.

O sócio-ecossistema urbano, para processar seu metabolismo, necessita de um *input* de bens e serviços oriundos de outros diferentes e longínquos ecossistemas e produz um *output* de resíduos, resultantes das atividades humanas. Indicadores têm como principal objetivo tornar compreensível um conjunto de fenômenos que não são facilmente percebidos. Para medir a sustentabilidade de sócio-ecossistemas urbanos, empregou-se o método de análise da “pegada ecológica”, desenvolvido por Wackernagel e Rees, em 1996. A idéia básica apresentada pelos autores é que todo indivíduo ou região, ao desenvolver seus diferenciados processos, produz um impacto sobre a Terra, através dos recursos consumidos e dos desperdícios causados. A “pegada ecológica” calcula, em hectares, a quantidade de terra e água produtivas utilizada para a

obtenção dos recursos que uma pessoa, cidade ou país utilizam, assim como para a absorção dos resíduos gerados.

Na visão de Martinez-Alier (1996), as necessidades humanas são satisfeitas pelo consumo endossomático de energia, a alimentação que depende da biologia humana, e pelo uso exossomático, os gastos energéticos e de materiais, com moradia, transporte, produção, que estão estreitamente relacionados com a cultura e o modelo de desenvolvimento.

O presente trabalho teve por objetivo calcular, para a Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará, o indicador biofísico de sustentabilidade denominado “pegada ecológica”. (Feitosa-Leite, 2001).

2. REVISÃO DA LITERATURA

Da urbanização, como símbolo de civilidade e progresso, tem-se passado para o questionamento sobre o desenvolvimento urbano. Novas considerações sobre o estudo da sustentabilidade das cidades têm surgido, entre elas a análise da cidade como sócio-ecossistema, em que o seu metabolismo é alimentado pelo fluxo de energia, circulação de matéria, importação de insumos e exportação de produtos contaminantes. Com isso, pode ser medida a “pegada ecológica” da cidade, quer dizer, o território circundante que dá suporte à vida urbana. Esta análise leva a perceber-se que o ambiente da cidade não é só o seu entorno regional imediato, mas todo o ecossistema planetário global. (Leff, 1998).

Os autores do método, Wackernagel e Rees (1996), usam a cidade para explicar o modelo por eles desenvolvido. Tomam, como ponto de partida, a seguinte reflexão: suponha que uma cidade fosse coberta por uma cúpula de vidro ou plástico que permitisse a entrada da luz solar (energia), porém não permitisse o *insumo* e *exsumo*, de qualquer material. A sobrevivência desta cidade dependeria da matéria que tivesse sido capturada inicialmente. Com este cenário, é evidente que o sistema urbano teria suas funções interrompidas em pouco tempo e os cidadãos estariam com suas vidas ameaçadas, vez que a capacidade de suporte seria insuficiente para atender à carga ecológica imposta pela população ali contida.

Na visão de Ribeiro (2000), o homem tem alterado a superfície da Terra para adequá-la às suas necessidades; tem enfrentado e vencido enfermidades, elevado a média da expectativa de vida; tem modificado a herança genética de vegetais e animais, para atender a suas demandas alimentares. Em suma, como depredador supremo, tem desfrutado das oportunidades de uma espécie em rápida expansão. Tal como em todas as espécies exitosas, tem aumentado o número de seus indivíduos e tem afetado de forma considerável a natureza, da qual é parte, levando à diminuição de áreas com potencial de suportar sua vida.

Os estudos sobre a apropriação humana de áreas bioprodutivas para atendimento de suas necessidades, principalmente da demanda por alimentos, não são tão recentes. Vários foram os pesquisadores que, ao longo dos anos, tiveram essa preocupação:

Hicks, na década de 1940, como membro da FAO, estudou a situação alimentar de alguns países e concluiu ser possível estabelecer dados comparativos entre a produção de alimentos e a população de uma determinada região, através de um coeficiente. (Silva, 1961).

Borgstorn, apud Odum (1993), apresenta o conceito de "hectares fantasmas", definindo-os como sendo "áreas fora dos países, que fornecem o influxo necessário de energia, alimento e bens e serviços de manutenção da vida". Estimou que, para cada hectare de terra agrícola no Japão, são necessários 5 ha de terra e oceanos fora desse país, para alimentar sua população.

Dorst (1973) apresenta a apropriação humana de áreas ecologicamente produtivas, especificamente para a alimentação, chamando a atenção para o aumento que os rendimentos agrícolas vêm sofrendo, desde os primórdios da humanidade. De maneira que o caçador paleolítico precisava de 10 km² para se alimentar, o pastor neolítico, de apenas de 10 ha e o camponês medieval, de dois terço de ha.

Odum (1983) fez referência ao tamanho do insumo ambiental de uma cidade dos Estados Unidos, estimando esta área pelas necessidades diárias de uma pessoa: 7,5 litros de água; 0,8 ha de terra agrícola; 0,4 ha de terra florestal para o fornecimento de produtos de papel e madeira. Diz, ainda, que o exsumo ambiental é bem menor do que o insumo.

Bronowski (1983), nos estudos que fez sobre a civilização Maia, identificou que, ao norte da atual Yucatan, onde as técnicas agrícolas não diferem das que os Maias usavam, cada família, com média de cinco pessoas, precisa de 72 acres de terra para subsistir. Uma aldeia de 100 famílias precisa, então, de 7200 acres. Nas terras altas da Guatemala (região de floresta, com poucos vales férteis), uma família indígena precisa freqüentemente de 100 a 200 acres para subsistir.

Alberti (1997), no seu artigo “Sustentabilidade e Gestão Ambiental Urbana”, discute a questão da dependência entre o ecossistema urbano e o rural, e afirma que a “área ecologicamente produtiva”, necessária para suportar uma cidade como Londres, pode ser de 100 a 300 vezes maior do que a área coberta pelo próprio assentamento.

Em 1996, dando uma nova dimensão à apropriação das áreas bioprodutivas para a satisfação das necessidades humanas, Wackernagel e Rees introduziram o conceito e o método de análise da “pegada ecológica”. A idéia básica apresentada pelos autores é que todo indivíduo (ou região), ao desenvolver seus diferenciados processos, produz um impacto sobre a Terra, através dos recursos usados e dos desperdícios gerados. (Bergh e Verbruggen, 1999).

Segundo Calejas e Wackernagel (2000), a “pegada ecológica” calcula quanto de terra e água produtivas é ocupado para se obterem os recursos que uma pessoa, cidade ou país consomem, assim como para serem absorvidos os resíduos gerados. Estimativas dos autores indicam que o canadense, em média, necessita 7,7 ha para sustentar seu atual estilo de vida e padrão de consumo; o americano, em média, requer mais de 10 ha. Estes valores contrastam com o requerimento de um mexicano que, em média, necessita 2,6 ha ou o de um indiano que só utiliza, em média, 0,8 ha.

Rees (1999) sugere que o primeiro passo, no cálculo da “pegada ecológica” de uma dada população, é a estimativa da área apropriada para a produção dos principais itens de consumo; isto é feito dividindo-se a média anual de consumo de cada item pela produtividade média anual. O total *per capita* da “pegada ecológica” é o somatório dos itens de consumo considerados.

Dias (1999) estudou o metabolismo sócio-ecossistêmico urbano da região de Taguatinga, DF. Analisou as contribuições dessa região para as mudanças climáticas ambientais globais. Dentre as categorias de análise usadas no estudo, o autor incluiu a

“pegada ecológica”. Para as cidades que compõem a região de estudo, a “pegada” foi de 2,24 ha/pessoa, com um déficit ecológico de 2,22 ha/pessoa. Foram considerados, no cálculo, os consumos de combustíveis fósseis (gasolina e GPL), energia elétrica, água, madeira, papel, alimentos (carne bovina) e produção de resíduos sólidos.

3. METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos desta pesquisa foram aplicados, tendo como referências: a área geográfica da Região Metropolitana de Fortaleza - RMF, composta pelos municípios de Aquiraz, Caucaia, Eusébio, Pacatuba, Fortaleza, Itaitinga, Maranguape, Maracanaú, e Guaiúba; o ano base 1996; a população de 2.582.820 habitantes e seu consumo.

A pesquisa bibliográfica e documental foi escolhida como meio de se obterem os dados necessários para o cálculo da “pegada ecológica” da área de estudo. Trabalha-se com dados secundários de consumo, de produtividade e produção. Os itens que refletem o padrão de consumo da RMF, foram divididos em três categorias: consumo endossomático de matéria e energia, uso exossomático de matéria e energia, e outros consumos.

3.1 Consumo endossomático de matéria e energia e sua contribuição para a “pegada ecológica”

A alimentação é um dos componentes do metabolismo dos ecossistemas urbanos que apresenta relativa facilidade, na quantificação de sua contribuição para a “pegada ecológica”.

3.1.1 Consumo de alimentos

A Pesquisa de Orçamentos Familiares: Consumo Alimentar Domiciliar *per capita* – 1995-1996, realizada pelo IBGE, na RMF, foi a base de dados secundários do consumo real de alimentos. Considerou-se o consumo total de cada produto alimentício; não foram incluídos itens de consumo que apresentaram a impossibilidade de determinação de sua produtividade, ou seja, quantidade produzida por unidade de área (kg/ha), tais como: alface, coentro, cebolinha etc.

Algumas frutas típicas da região não foram incluídas, pois, na fonte de dados, figuram num único item de consumo, como também outras frutas de clima tropical,

não sendo possível saber o consumo específico de cada uma delas. Dentre estas, estão: goiaba, caju, ata ou fruta-do-conde, cajá, graviola, sapoti, murici, tamarindo, umbu.

No grupo de alimentos de origem vegetal, itens de consumo que guardavam entre si diferenciação quanto à espécie, por exemplo, feijão-fradinho, feijão-preto, feijão-rajado, feijão-roxo, tiveram seus consumos somados e figuram no item feijão. Desta mesma forma, procedeu-se com relação a banana e laranja.

O consumo de trigo, produto totalmente importado, foi calculado pela demanda estadual de 1992, ou seja, 310.100 toneladas (IPLANCE, 1992). O consumo *per capita* do Estado, naquele ano, foi de 0,048737 ton/pessoa/ano (310.100 / 6.362.620 habitantes), o qual, se extrapolando para a população de 1996 (6.809.794 habitantes), chegou ao consumo *per capita* de 0,052162 ton/pessoa/ano que foi adotado para a RMF.

TABELA 1– Consumo endossomático da RMF, no ano de 1996

Alimentos de Origem vegetal	Consumo (kg/pessoa/ano)	PRODUTIVIDADE (kg/ha)	Referência	Componente da “pegada” (ha/pessoa)
Abacaxi	0,742	11.910,00	IPLANCE ²	0,000062
Abóbora	0,381	11.000,00	⁶	0,000035
Abobrinha	0,026	20.000,00	EMATERCE ⁴	0,000001
Alho	0,259	3.105,00	IBGE ¹	0,000083
Arroz	28,950	2.173,00	IBGE ¹	0,013323
Banana	9,925	5.232,00	IPLANCE ²	0,001897
Batata doce	0,553	6.925,00	IBGE ¹	0,000080
Batata inglesa	4,324	7.857,00	IBGE ¹	0,000550
Beterraba	0,848	15.000,00	EMATERCE ⁴	0,000057
Cebola	3,263	14.000,00	IBGE ¹	0,000233
Cenoura	2,329	25.000,00	EMATERCE ⁴	0,000093
Chuchu	1,449	80.000,00	EMATERCE ⁴	0,000018
Coco da Bahia	0,265	3.575,00	IPLANCE ²	0,000074
Couve-flor	0,075	20.000,00	EMATERCE ⁴	0,000004
Fava	0,056	226,00	IBGE ¹	0,000248
Feijão	15,060	361,00	IBGE ¹	0,041717
Laranja	11,024	97.139,00	IBGE ¹	0,000113
Limão comum	0,245	4.986,27	IPLANCE ²	0,000049
Maçã	2,014	129.082,00	IBGE ¹	0,000016

Mamão	2,444	20.572,00	IPLANCE ²	0,000119
Mandioca	0,087	6.830,00	IBGE ¹	0,000013
Manga	1,178	8.500,40	IPLANCE ²	0,000139
Maracujá	1,091	94.591,00	IBGE ¹	0,000012
Milho	2,304	783,00	IBGE ¹	0,002943
Pepino	0,107	30.000,00	EMATERCE ⁴	0,000004
Pêra	0,245	55.189,00	IBGE ¹	0,000004
Pimentão	1,170	35.000,00	EMATERCE ⁴	0,000033
Quiabo	0,027	18.000,00	⁶	0,000002
Repolho	0,718	35.000,00	EMATERCE ⁴	0,000021
Tangerina	0,328	1.742,64	IPLANCE ²	0,000188
Tomate	3,751	28.254,00	IBGE ¹	0,000133
Trigo	52,162	1.554,00	IBGE ¹	0,033566
Uva	0,552	5.867,00	IPLANCE ²	0,000094
Vagem	0,196	10.000,00	EMATERCE ⁴	0,000020
Açúcar	20,738	4.223,07	IPLANCE ²	0,004911
Café moído	1,882	323,50	IPLANCE ²	0,005818
Farinha de Mandioca	7,411	1.844,10	IPLANCE ²	0,000393
Subtotal				0,107064

Alimentos de Origem animal	Consumo (kg/pessoa/ano)	PRODUTIVIDADE (kg/ha)	Referência	Componente da “pegada” (ha/pessoa)
Aves	20,785	457,00	CES ⁹	0,045481
Carne bovina	17,770	33,00	⁷	0,538485
Carne caprino/ovino	1,005	33,00	⁷	0,030455
Carne suína	2,730	457,00	CES ⁹	0,005974
Leite de vaca fresco	3,388	502,00	⁷	0,006749
Leite pasteurizado	21,637	502,00	⁷	0,043102
Manteiga	5,777	502,00	⁷	0,011508
Pescado de água doce	1,536	105,00	⁸	0,014629
Pescado de água salgada	2,588	29,00	CES ⁹	0,089241
Queijo	11,980	502,00	⁷	0,023865
Subtotal				0,809488
Total				0,916551

Valor Adicional (30% de perdas) = 0,274965 \Rightarrow 1,191516. Obs: As referências quanto às produtividades, expressas na Tabela 1, foram obtidas nas seguintes fontes:

1. IBGE. **Produção agrícola municipal: culturas temporárias e permanentes do Ceará**. Fortaleza, 1996. (* Produtividade da Região Metropolitana de Fortaleza.)

2. IPLANCE. **Coletânea de estatísticas da produção agrícola cearense, de 1947 a 1995**. Fortaleza, 1996.
3. IPLANCE. **Atlas do Ceará**. Fortaleza, 1997. (CD)
4. EMATERCE. Índices técnicos para hortaliças: Região da Ibiapaba, Ubajara. Fortaleza, 1991. (mimeografado).
5. IBGE. **Anuário estatístico do Brasil – 1996**. Rio de Janeiro, 1997.
6. FILGUEIRAS, F.A. **Manual de olericultura**. 2ª ed. São Paulo: Ed. Ceres, 1981. 336p.
7. WACKERNAGEL, M. et al. National natural capital accounting with the ecological footprint concept. **Ecological Economics**. Vol 29, n.3, jun, 1999. pp375-390.
8. GURGEL, J.J.S. Contribuição do DNOCS ao desenvolvimento da agricultura no Nordeste brasileiro. Fortaleza: DNOCS, 1979. 17p. (mimeografado).
9. CES – Centro de Estudio de la Sustentabilidad. **Calculation of the Chilean's Average Ecological Footprint (1993)**. México: Xalapa, 1999.

A produtividade (kg/ha) da farinha de mandioca, produto resultante do beneficiamento da raiz de mandioca, foi determinada, utilizando-se o fator de conversão de 1 ton de raiz de mandioca para produzir 270 kg de farinha (IPLANCE, 1996) e a produtividade da mandioca de 6.830 kg de raiz/ha (IBGE, 1996). Obteve-se, assim, a produtividade de 1.844,1 kg de farinha por hectare. O mesmo procedimento foi adotado na determinação da produtividade do açúcar: 1 ton de colmo de cana de açúcar para produzir 90 kg de açúcar (IPLANCE, 1996); a produtividade da cana, em 1996, foi de 46.925 kg/ha, logo a produtividade do açúcar foi de 4.223,07 kg/ha. Para o café beneficiado, também se seguiu o mesmo procedimento. O IPLANCE (1996) apresenta o fator de conversão 1 ton de café em coco = 500 kg de café beneficiado.

Alguns alimentos de origem animal foram agrupados, de forma que fosse possível se determinar a produtividade, em kg/ha, exigida pelo método de análise. O item carne bovina abriga os dados referentes às carnes bovinas de primeira e de segunda, em suas variadas formas de corte. Os consumos de pescados de água doce e de água salgada incluem os diversos tipos de peixe correspondentes.

O consumo dos variados tipos de queijo (prato, minas, mozzarella, parmesão, ricota, de coalho, requeijão) foi agrupado num só item: queijos. Usou-se o fator de equivalência de 100 kg de leite = 10 kg de queijo, apresentado por Behemer (1978), e a quantidade consumida de queijos foi convertida em seu equivalente em leite. A equivalência da manteiga foi obtida pelo fator 100 kg de leite = 4,5 kg de manteiga.

Para atender à demanda de alimentos da área de estudo, cada pessoa se apropriou de 0,809488 ha de áreas biologicamente produtivas, para a produção de alimentos de origem animal, e 0,107064 ha, para a produção de alimentos de origem vegetal. Considerando que “o Brasil desperdiça 30% da produção de alimentos”, calculou-se a área adicional em 0,252020 ha/pessoa (30% de 0,916551 ha/pessoa). Somou-se o valor adicional ao da “pegada ecológica” dos alimentos, obtendo-se 1,191516 ha/pessoa (0,916551 + 0,274965)

3.2 Uso exossomático de matéria e energia e sua participação na “pegada ecológica”

Para o cálculo do uso exossomático de matéria e energia, foram consideradas as classes de consumo: energéticos florestais, energia elétrica, combustíveis fósseis (GPL, gasolina), água, outros consumos (unidades de conservação, área construída) e geração de resíduos sólidos.

A contribuição do consumo de combustíveis fósseis, energia elétrica e geração de resíduos sólidos foi calculada através da quantidade de CO₂ emitido e da área natural requerida para sua absorção. DeCicco et al. (1991), apud Dias op. cit., apresentaram ao *Conselho Americano para uma Economia com Eficiência Energética* (*American Council for an Energy-Efficient Economy*) diversos fatores de conversão; dentre eles, estão: 3 kg de lixo produzido equivalem à produção de 1 kg de CO₂; 1 hectare de vegetação absorve 1,8 ton de CO₂; 1 kWh de energia consumida emite 0,675 kg de CO₂. (Dias, 1999).

3.2.1. Consumo de produtos florestais

3.2.1.1 Consumo domiciliar de lenha e carvão vegetal

O consumo domiciliar de energéticos florestais é representado pela lenha e carvão vegetal utilizados diretamente no preparo de alimentos. Conforme a referida pesquisa (IPLANCE, 1992), com base na população de Fortaleza (1.765.794 habitantes),

em 1992, e no número de domicílios (346.234), o consumo anual foi estimado em 2.122,068 tEP (tonelada equivalente em petróleo), ou 7.026,72 ton de lenha (1 ton de lenha = 0,302 tEP). O consumo de carvão vegetal foi de 235,785 tEP, ou 374,260 ton (1 ton de carvão vegetal = 0,630 tEP).

De posse do consumo de lenha e carvão vegetal de Fortaleza, em 1992, foi feita uma extrapolação para 1996: (i) usando-se os fatores de conversão da lenha: 1st = 0,340 ton e $1\text{m}^3 = 3,32\text{ st}$ (PNUD/FAO/IBAMA, 1993), obteve-se o consumo de lenha de 20.666,823 st, que equivale a 6224,950 m^3 de lenha; (ii) o consumo *per capita* de 1992 foi de 0,0035252 m^3 de lenha (6224,946 / 1.765.794 habitantes); (iii) com base no consumo de 1992, estimou-se que o consumo *per capita* de lenha, de Fortaleza em 1996, foi de 0,003924 m^3 /pessoa/ano (1.965.513 habitantes). Esse consumo *per capita* foi considerado para a RMF (a população de Fortaleza representava 76,09% da população da RMF); (iv) a contribuição do consumo de lenha para a “pegada” foi calculada pelo rendimento lenhoso de 2,3 m^3 /ha/ano (Wackernagel e Rees, 1996); assim, cada habitante da RMF se apropriou de 0,001706 ha/ano para suprir sua necessidade de lenha para o uso doméstico. Quanto ao consumo de carvão vegetal (cv), adotou-se o seguinte procedimento: (i) tendo como referências os fatores de conversão de 1 ton de cv = 3,636 m^3 de cv, 1 m^3 cv = 5,66 st de lenha e 1 m^3 de lenha = 3,32 st (PNUD/FAO/IBAMA, op. cit.), fez-se a equivalência de m^3 de carvão em m^3 de lenha, de modo que o consumo de 374,262 ton cv correspondeu a 1.360,816 m^3 de cv (374,262x3,636), equivalentes a 7.702,218 st de lenha (1360,816 X 5,66) ou a 2.319,945 m^3 de lenha (7.702,218 / 3,32); (ii) o consumo *per capita* de 1992 foi de 0,001314 m^3 de lenha (2.319,945 / 1.765.794 habitantes); (iii) com base no consumo de 1992, estimou-se o consumo *per capita* de carvão vegetal (equivalente em lenha), de Fortaleza em 1996 (1.965.513 habitantes), que foi de 0,001463 m^3 ; (iv) a área requerida para atender à demanda *per capita* de cv foi de 0,000063 ha/pessoa, considerando o rendimento lenhoso de 2,3 m^3 /ha/ano (Wackernagel e Rees, op. cit.); (v) esse valor foi estendido à RMF.

3.2.1.2. Consumo de madeira

A madeira, dentre os insumos dos ecossistemas urbanos, é o mais significativo, em termos de quantidade e extensão da cadeia de impactos negativos, gerados pela sua extração e consumo

Apenas 15% da madeira utilizada nas serrarias do Ceará são de origem do próprio estado, o restante é adquirido nos estados do Pará e Maranhão. (PNUD/FAO/IBAMA, 1993). Em 1992, segundo dados da pesquisa do projeto PNUD/FAO/IBAMA, o consumo de madeira no Ceará foi de 141.738 m³, logo, o consumo por pessoa naquele ano foi de 0,022277 m³ (141.738 m³ / 6.362.620 habitantes). Extrapolando-se para o ano de 1996, tem-se o consumo de 0,023842 m³/pessoa. A área bioproductiva para atender a essa demanda foi de 0,0103661 ha/pessoa, considerando o rendimento lenhoso de 2,3 m³/ha/ano para florestas tropicais. (Wackernagel e Rees, op. cit.).

3.2.1.3 Consumo de papel

No cálculo da área bioproductiva requerida por habitante para a produção de papel, foram adotados os seguintes passos: (i) tendo por base o consumo médio do Brasil, de 51 kg de papel/pessoa/ano (Dias, 1999), estimou-se o consumo de papel da população em estudo em 131.723,82 ton/ano (51 kg/pessoa/ano x 2.582.820 pessoas); (ii) usou-se o fator de conversão de 1,8 m³ de madeira, produzindo 1 (uma) ton de papel (Wackernagel e Rees, 1996); logo, a RMF consumiu 237.102,876 m³ de madeira para a produção de papel; (iii) 1 (um) hectare apresenta o rendimento lenhoso de 2,3 m³ de madeira/ano (Wackernagel e Rees, op. cit.), então, foram utilizados 10.3088,207 ha/ano; (iv) em 1996, a área anual requerida para a demanda de papel da RMF foi de 0,039913 ha/pessoa .

3.2.2 Consumo de energia elétrica

A contribuição do consumo de energia elétrica para a pegada ecológica será calculada de forma indireta, ou seja, através da área necessária para absorver as emissões de CO₂ geradas pelo seu consumo. DeCicco et al., apud Dias (op.cit.), estabeleceram, em 1991, um fator de conversão entre o consumo de energia elétrica (kWh) e a emissão de CO₂: 1,5 lb CO₂/kWh. Considerando ser 1 libra = 0,45 kg, então, a relação pode ser expressa da seguinte maneira: 0,675 kg de CO₂/kWh de energia consumida. Dadas as características globais do ciclo do carbono, é perfeitamente compreensível que as emissões lançadas na atmosfera sejam absorvidas por diversos ecossistemas em condições de fazê-lo, independentemente de sua localização geográfica. Dajoz (1978) estimou para cada ecossistema terrestre uma taxa de fixação de

CO₂ em ton/ha/ano A taxa média apresentada foi de 1,07 ton/ha/ano. De posse dos dados de consumo de energia elétrica da RMF, consignados pelo IPLANCE, no Anuário Estatístico do Ceará – 1995-1996, adotaram-se os seguintes procedimentos: (i) usando o fator de conversão de 0,675 kg CO₂/kWh (DeCicco et al., apud Dias, op.cit.), calculou-se a quantidade de CO₂ emitida para cada classe de consumo; (ii) para o cálculo da área natural requerida para a absorção do CO₂ emitido, usou-se a taxa média de absorção de CO₂ de Dajoz (op.cit), 1,07 ton/ha/ano; (iii) a contribuição *per capita* do consumo de energia para cada classe de consumo foi obtida tendo por base a população da RMF, em 1996, 2.582.820 habitantes.

Cada habitante da área de estudo se apodera de 0,665946 ha/pessoa/ano de área natural, para atender à demanda de energia elétrica, que possibilita aos diversos subsistemas do sócio-ecossistema urbano realizarem seu metabolismo.

3.2.3 Consumo de combustível fóssil

3.2.3.1 Gás liquefeito de petróleo – GLP

No Ceará, em 1996, conforme dados da ANP (2001), foram consumidas 194.839 ton de GLP; o consumo *per capita* foi de 0,028611 ton GLP/pessoa/ano (194.839 ton / 6.809.794 habitantes). Assim, na RMF, o consumo em 1996 foi de 73.897,06 ton (0,028611 x 2.582.820), o que representa um consumo de 5.682.204 botijões de 13 kg. Considerando que a combustão da mistura de gases dos 13 kg do botijão doméstico produz em média 88 kg de CO₂ (Dias, 1999), houve, então, a emissão de 500.033,95 ton CO₂ /ano (5.682.204 x 88). Utilizando a taxa média de fixação de carbono de 1,07 ton/ha/ano (Dajoz, op.cit.), obtiveram-se 467.321,45 ha/ano de área natural requerida para a fixação dessa quantidade de carbono.

Dividindo este valor pela população da RMF (2.582.820 de pessoas), tem-se que a contribuição do consumo de gás de cozinha para o cálculo da “pegada ecológica” foi de 0,180935 ha/pessoa/ano.

3.2.3.2 Transportes e consumo de gasolina

A mistura gasosa que emana dos motores de combustão dos veículos, é rica em óxidos de carbono (CO e CO₂), hidrocarbonetos (compostos formados apenas por carbono e hidrogênio) e óxidos de nitrogênio (NO_x), além de material particulado. (Carvalho, 1995). Conforme Ribeiro (2000), no momento, 80% da emissão de CO₂

anual para a atmosfera derivam-se da queima de combustíveis fósseis (carvão mineral e derivados do petróleo), em seus diversos empregos.

Segundo a ANP (2001), em 1997, o Ceará consumiu 403.805.000 litros de gasolina: o consumo médio por veículo foi de 748,11 l/ano. Em 1998, foi de 784,28 litros/veículo/ano.

A estimativa da contribuição do consumo de gasolina para a “pegada ecológica” da RMF foi feita da seguinte maneira: (i) em 1996, Fortaleza consumiu 222.792.411,6 l de gasolina, considerando-se que 59,82% da frota de veículos do Estado era de Fortaleza (DETRAN, 2001) e que o consumo estadual de gasolina foi de 372.438.000 l (ANP, 2001); (ii) obteve-se, então, o consumo *per capita* de gasolina de Fortaleza, em 1996, 113,35 l/pessoa ($222.792.411,6 \text{ l} / 1.965.513 \text{ pessoas}$); (iii) estimou-se o consumo total da RMF em 292.762.647 l/ano, ($113,35 \times 2.582.820$); (iv) usando o fator de conversão de 3,63 kg de CO₂ para cada litro de gasolina queimada (Vini et al., apud Dias, 1999), obtiveram-se as ton de CO₂ emitidas pela RMF; (v) calculou-se em 993.204,12 ha a área natural para absorver a quantidade de CO₂ emitida ($1.062.728,41 / 1,07$ - a taxa de absorção de Dajoz, op.cit.); (vi) determinou-se a área *per capita* em 0,384542 ha/ano.

3.2.4 Contribuição de outros usos e consumos para o cálculo da “pegada ecológica”

3.2.4.1 Consumo de água

Apesar da fundamental importância da água para a manutenção dos organismos vivos, ecossistemas naturais e ecossistemas urbanos, a análise da “pegada ecológica” ainda não dispõe de procedimentos metodológicos específicos para calcular a contribuição do consumo de água.

Estimou-se a “pegada ecológica” para a água, da seguinte forma: (i) somaram-se as áreas (ha) das bacias hidráulicas dos açudes que compõem o sistema de abastecimento da RMF, 9727 ha; (ii) dividiu-se pela população ($9.727 \text{ há} / 2.582.820$), obtendo-se 0,037582 ha de área natural para atender à demanda de água doce superficial. Vale salientar que não foi incluído o consumo de auto-abastecimento, aquele realizado pela captação de águas subterrâneas.

3.2.4.2 Áreas metropolitanas de conservação

Em Fortaleza, 85% das áreas públicas, que incluem praças, logradouros, lagoas, e área de preservação permanente, foram ocupadas ilegalmente, de forma que o fortalezense dispõe apenas de 4 m² de área verde. (Arruda, 2000).

Em 1996, a RMF dispunha de 0,000233 ha por pessoa de áreas naturais, submetidas ao regime de unidades de conservação. Vale salientar que a recomendação da ONU é de 12 m² de área verde por habitante de cidades, que devem incluir unidades de conservação, áreas de preservação permanente e outras áreas verdes.

3.2.4.3 Áreas construídas

As áreas construídas abrigam as instalações humanas e as estradas. Neste estudo, considerou-se o valor *per capita* mundial de áreas construídas de 0,06 ha, que foi apresentado por Wackenargel et al. (1999).

3.2.5 Geração de resíduos sólidos

A produção *per capita*, quantidade de kg de lixo que, em média, cada pessoa gera num dia, está diretamente relacionada a seu padrão de consumo e estilo de vida. No Brasil, a produção média é de 0,4 a 0,7 kg de lixo por pessoa por dia. (Barros, 1995). Dados do Plano Metropolitano de Limpeza Pública indicam que, em 1986, o habitante de Fortaleza produziu, em média, 0,67 kg de resíduos sólidos por dia, totalizando 1.252 toneladas/dia de resíduos domiciliares. (Costa, 1995)

Para se estimar a produção *per capita* de lixo da RMF, em 1996, procedeu-se da seguinte forma: (i) partiu-se do quantitativo de lixo coletado em Fortaleza, nesse referido ano, quando, segundo dados da EMLURB – Empresa Municipal de Limpeza e Urbanização (1997), foram coletadas 1.163.527,79 ton; assim, a produção *per capita* foi de 591,97 kg/ano (1.163.527,79 ton / 1.965.513 pessoas). (ii) estimou-se a produção total de lixo da RMF, para 1996, em 1.528.951.955,4 kg/ano (591,97kg x 2.582.820 pessoas). (iii) utilizando-se a relação de que 3 kg de lixo produzem 1 kg de CO₂ (DeCicco et al., apud Dias, op. cit.), calculou-se a quantidade de CO₂ produzida, 509.650.651,8 kg. (iv) estimou-se a área natural necessária para absorver a quantidade de dióxido de carbono, usando-se a taxa de absorção de Dajoz (op. cit.), 1,07 ton CO₂/ha, (509.650,65 ton / 1,07); assim, foram requeridos 476.309,021 ha; (v) a área *per capita* para absorver as emissões de dióxido de carbono foi de 0,368829 ha.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O procedimento metodológico, utilizado para calcular a “pegada ecológica” da área geográfica em estudo, seguiu as recomendações de se considerarem os principais itens de consumo, aqueles que causam maiores impactos sobre o meio ambiente; e de não se incluírem as áreas necessárias para a manutenção de outras espécies. O resultado da “pegada ecológica” *per capita* da RMF é apresentado na Tabela 2.

A magnitude da “pegada ecológica” *per capita* da área de estudo foi 2,94 ha/pessoa. Isto significa que, em 1996, a população da RMF requereu 7.593.490,80 ha de áreas naturais para atender às suas necessidades de alimentação, transporte, água, moradia etc. e para absorver seus resíduos sólidos ($2.582.820 \times 2,94$).

O consumo endossomático representou 40,51% da “pegada” *per capita*, sendo 27,52% de origem animal. Significa que o impacto ambiental do consumo de alimentos de origem animal é mais de 7,5 vezes ($27,52 / 3,64$) o impacto causado pelos alimentos de origem vegetal. Além de indicar a ineficiência ecológica da produção animal, tal fato revela o forte peso da pegada daquelas classes sociais que mais consomem carnes, derivados e similares. Quanto ao consumo exossomático, o uso de energia elétrica figura com o maior percentual, 22,64%; os combustíveis fósseis com 19,22% e os resíduos sólidos com 12,54%. Esta é, portanto, a ordem de importância dos quatro itens que maior impacto causam sobre o meio ambiente, tendo contribuído em 81,92% para a “pegada ecológica” da Região Metropolitana de Fortaleza.

A “pegada ecológica” *per capita* da área de estudo foi inferior à “pegada” do Brasil, 3,1 ha/pessoa, expressa no documento *Ecological Footprints of Nations* (“Pegada Ecológica” das Nações) produzido por Wackernagel et al. (1999) e superior à da região de Taguatinga, DF, 2,24 ha/pessoa, calculada por Dias (1999).

Outrossim, como não é possível estabelecer 100% do metabolismo dos sócio-ecossistemas urbanos, o quanto da natureza é usado na implementação do metabolismo das cidades é sempre subestimado. Importantes itens de consumo, ao serem desconsiderados no cálculo da “pegada”, contribuem para mascarar o resultado. Dentre

TABELA 2 – A “pegada ecológica” *per capita* da RMF, no ano de 1996

ITENS	“PEGADA (ha/pessoa)	ECOLÓGICA” (percentagens)
1. Alimentos		

Origem vegetal	0,107064	3,64
Origem animal	0,809488	27,52
Valor adicional	0,274965	9,35
Subtotal	1,191516	40,51
2. Florestais energéticos (consumo domiciliar)		
Lenha	0,001706	0,06
Carvão	0,000063	0,00
Subtotal	0,001769	0,06
3. Florestais não energéticos		
Papel	0,039913	1,36
Madeira	0,010366	0,35
Subtotal	0,050279	1,71
4. Energia elétrica	0,665946	22,64
5. Combustíveis fósseis		
Gasolina	0,384542	13,07
GLP	0,180935	6,15
Subtotal	0,565477	19,22
6. Recursos hídricos	0,037582	1,28
7. Unids. de conservação	0,000233	0,01
8. Áreas construídas	0,060000	2,04
9. Resíduos sólidos	0,368829	12,54
Pegada Ecológica per capita	2,941632	100,00

Fonte: Resultados da pesquisa
eles podem-se citar:

- Cigarros: ademais dos malefícios manifestados naqueles que fumam, a combustão lenta dos cigarros libera, para a atmosfera, monóxido de carbono e alcatrão, além de requerer extensas áreas para o plantio do fumo.
- Cosméticos: representam um significativo número de itens que são consumidos diariamente.
- Medicamentos: o Brasil é o 4º consumidor de medicamentos do mundo; é comercializado anualmente 1,74 bilhão de unidades, no mercado nacional.

O déficit ecológico (Tabela 3), área da “pegada ecológica” que ultrapassa as fronteiras do país, estado, região ou cidade, expõe o drama da insustentabilidade. Todos os municípios que compõem a RMF apresentaram déficit ecológico. Foi apropriada uma área de, aproximadamente, 22,4 vezes sua área geográfica (338.830 ha), para a manutenção do padrão de consumo e do estilo de vida adotados pela população, naquele ano. Tal resultado evidencia a forte dependência que a Região mantém relativamente a outros ecossistemas.

A verdade é que qualquer aglomeração urbana que se torne habilitada a receber *inputs*, sua economia invariavelmente tende a se expandir. O que não representa um ganho líquido de áreas biologicamente produtivas, porquanto este é acompanhado por uma redução nas áreas das regiões exportadoras. Altos déficits ecológicos fazem com que, ao final, todos saíam perdendo.

É importante enfatizar que as “pegadas ecológicas” calculadas não representam uma extensão contínua de terra, pois, devido ao comércio internacional e aos ciclos biogenéticos globais, os homens usam recursos de todo o mundo, da mesma forma que socializam para todo o planeta os impactos negativos decorrentes do seu padrão de consumo.

O cálculo da “pegada ecológica” dos itens de alimentação é função da população, consumo e da produtividade dos produtos. Uma região que apresenta produtividade elevada, graças à prática de uma agricultura moderna e poluidora, pode apresentar sua “pegada” diminuída; por outro lado, já que a produtividade da agricultura ocorre às expensas de mais energia, combustível fóssil, água por unidade produzida, isto pode representar um acréscimo na sua “pegada”, no cálculo dos outros itens de consumo.

O *deficit* ecológico *per capita* é determinado pela relação entre hectares disponíveis e população existente (*grosso modo*, o inverso da densidade demográfica: $338.830 / 2.582.820 = 0,13$ ha), menos a “pegada ecológica” *per capita*. A área, alvo desta pesquisa, apresentou um *deficit* ecológico *per capita* de 2,81 ha/pessoa ($0,13 - 2,94 = - 2,81$). Enquanto que, segundo Wackernagel et al. (op.cit.), o Brasil apresenta um *superavit* ecológico de 3,6 ha/pessoa.

A relação entre a “pegada ecológica” e a área municipal (absolutas ou *per capita*), apresentada na última coluna da Tabela 3, apesar de não figurar como um procedimento metodológico sugerido pelos autores já citados, foi incluída por

representar claramente a intensidade de consumo de cada município, sendo possível fazer uma análise comparativa entre eles. Destacam-se aí os agudos impactos ambientais dos municípios de Fortaleza e Maracanaú que são os mais industrializados e populosos da RMF. Em suma: o indicador da “pegada ecológica” estima os efeitos da demanda por bens e serviços de uma aglomeração humana, sobre o ambiente natural, o que geralmente revela um processo de troca ecológica desigual entre a cidade e o campo.

TABELA 3 – Déficit ecológico por município da RMF, no ano de 1996

Municípios	População	Área (ha)	"Pegada Ecológica" absoluta (ha)	Déficit Ecológico (ha)	PE/Área
Aquiraz	52.282	48.280	153.709,08	105.426,08	3,18
Caucaia	209.150	119.560	614.901,00	495.341,00	5,14
Eusébio	27.206	7.800	79.985,64	72.185,64	10,25
Fortaleza	1.965.513	31.380	5.778.608,22	5.747.228,22	184,15
Guaiúba	17.060	27.130	50.156,40	23.026,40	1,85
Itaitinga	25.886	15.550	76.104,84	60.554,84	4,89
Maracanaú	160.065	9.850	470.591,10	460.741,10	47,78
Maranguape	82.064	65.480	241.268,16	175.788,16	3,68
Pacatuba	43.594	13.800	128.166,36	114.366,36	9,29
RMF	2.582.820	338.830	7.593.490,80	7.254.657,80	22,41

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS (De acordo com ABNT - NBR 6023:2000).

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO - ANP. Vendas de gás liquefeito de petróleo – GLP, 1990-1999. Disponível em: < www.anp.org.br >. Acesso em 10 mai. 2001.

_____. Vendas de gasolina automotiva, 1990-1999. Disponível em: < www.anp.org.br >. Acesso em 10 mai. 2001.

ALBERTI, M. Sustentabilidade e gestão ambiental urbana. **Desenvolvimento & Meio Ambiente**, ano 6, vol. 31, p. 3-5, ago.-set., 1997

ALMEIDA, Francisco Carlos. A geração, coleta e destinação dos resíduos sólidos em Fortaleza. Fortaleza: ENLURB, 1994. 10 p.

ARRUDA, I. **A reforma urbana e o futuro das cidades**. Brasília: Câmara dos Deputados, 2000. 49 p.

BARROS, R.T.V. Limpeza pública. In: **Manual de saneamento e proteção ambiental**.

Belo Horizonte: Projeto DESA/GTZ, vol. 2, p. 181-121, 1995

BEHEMER, M. L. Arruda. **Tecnologia do leite**. 8ª ed. São Paulo: Nobel, 1978. 320 p.

BERGH, Jeroen C.J.M. e VERBRUGGEN, Harman. Spatial sustainability, trade and indications: evaluation of the “ecological footprint”. **Ecological Economics**, vol. 29, n. 3, p. 61-72, jun. 1999.

BRONOWSKI, J. **A escalada do homem**. São Paulo: Martins Fontes, 1983, 448 p.

CALLEJAS, A. e WACKERNAGEL, M. La huella ecológica del uso del água. **Ambiente Ecológico**, ano VIII, n. 74, sept. 2000.

CARVALHO, B.A. **Ecologia e poluição**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, [1995]. 177 p.

CES - Centro de Estudio de la Sustentabilidad. **Calculation of the Chilean’s average ecological footprint (1993)**. Xalapa, México, 1999.

COSTA, E.G. Proposta de reciclagem de parte do lixo urbano da Grande Fortaleza. **Revista Econômica do Nordeste**, vol. 4, p. 41-57, jan.-mar. 1995

DAJOZ, R. **Ecologia Geral**. 3ª ed. Petrópolis: Editora Vozes, 1978. 472 p

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO - DETRAN. Análise comparativa de estatísticas de trânsito no Estado do Ceará – 1996-1998. Disponível em: < www.detran.gov.br >. Acesso em 10 mai. 2001.

DIAS, Genebaldo Freire. **Estudo sobre o metabolismo sócio-ecossistêmico urbano da Região de Taguatinga - DF e as alterações ambientais globais**. 179 p. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 1999.

DORST, Jean. **Antes que a natureza morra**. São Paulo: Edgard Blücher, 1973. 394 p.

EMATERCE. Índices técnicos para hortaliças: Região da Ibiapaba-CE., Ubajara, 1991. (Mimeografado).

FEITOSA-LEITE, Ana Maria. Estudo da sustentabilidade de sócio-ecossistemas urbanos, através da “pegada ecológica”: Região Metropolitana de Fortaleza, CE. Dissertação de Mestrado. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará (UFC), Programa Regional de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), 2001.

FILGUEIRAS, Fernando A. Reis. **Manual de olericultura**. 2ª ed. [s.l.]: Ceres, 1981. 136 p.

GURGEL, J. J. S. Contribuição do DNOCS ao desenvolvimento da aqüicultura no Nordeste brasileiro. Fortaleza: DNOCS, 1979, 17 p. (Mimeografado)

IBGE. **Produção agrícola municipal: culturas temporárias e permanentes do Ceará.** Rio de Janeiro, 1996. vol. 23.

_____. **Anuário estatístico do Brasil – 1996.** Rio de Janeiro, 1997.

_____. **Pesquisa de orçamento familiar: consumo alimentar domiciliar *per capita*, 1995 –1996.** Rio de Janeiro, 1998, 138 p.

IPLANCE. **A dependência alimentar do Ceará: alcance e repercussões.** Fortaleza, 1992. 10 p.

_____. **Coletânea de estatísticas da produção agrícola cearense de 1947 a 1995.** Fortaleza, 1996.

_____. **Anuário estatístico do Ceará – 1995/96.** Fortaleza, 1997.

_____. **Atlas do Ceará.** Fortaleza, 1997.

LEFF, Enrique. **Saber ambiental.** Madrid: Siglo Veintiuno, 1998. 281 p.

MARTINEZ-ALIER, Joan. **Curso de economia ecológica.** México: Instituto Latino Americano de Ecologia Social/ECO-ECO, 1996.

ODUM, E. P. **Ecologia.** Rio de Janeiro: Guanabara, 1988. 434 p.

_____. **Ecology and our endangered life-support systems.** 2nd ed. Sunderland: Sinauer Associates, Inc, 1993. 301 p.

PNUD/FAO/IBAMA. **Consumo de produtos florestais do setor domiciliar no Estado do Ceará.** Fortaleza, 1993. 32 p.

_____. **Consumo de produtos florestais do setor industrial/comercial no Estado do Ceará.** Fortaleza, 1993. 21 p.

REES, W.E. Revisiting carrying capacity: area-based indicators of sustainability. Disponível em: < <http://dieoff.org/page110.htm> >. Acesso em: 19 mai. 1999.

RIBEIRO, M. A. **Ecologizar: pensando o ambiente humano.** 2^a ed. Belo Horizonte: Rona, 2000. 396 p.

SILVA, G.S.R. Da carência alimentar do Nordeste: condições ecológicas e fatores sócio-econômicos. **Boletim Geográfico**, vol. XIX, n. 162, p. 16 – 27, mai.-jun., 1961.

WACKERNAGEL, M. e REES, W. **Our ecological footprint: reducing human impact on the earth.** Philadelphia: New Society Publishers, 1996. 160 p.

WACKERNAGEL, M et al. Ecological footprints of nations: how much nature do they use? how much nature do they have?. Disponível em: < <http://www.ecouncil.ac.cr/rio/focus/report/english/footprint/> >. Acesso em 26 mai. 1998.

_____.National natural capital accounting with the ecological footprint concept.
Ecological Economics. vol.29, n. 3, p. 375-390, jun. 1999.