

# Modelo integrado das pegadas hídrica, ecológica e de carbono para o monitoramento da pressão humana sobre o planeta

## An integrated approach based on water, ecological and carbon footprint for tracking human pressure on the planet

Vicente de Paulo Rodrigues da Silva<sup>1(\*)</sup>

Danilo de Oliveira Aleixo<sup>2</sup>

Rafaela Silveira Rodrigues Almeida<sup>3</sup>

João Hugo Baracuy da Cunha Campos<sup>4</sup>

Lincoln Eloi de Araújo<sup>5</sup>

### Resumo

Modelos de pegadas de carbono ecológicos e de água estão sendo cada vez mais usado para monitorar uso pessoal e doméstico dos recursos naturais. As pegadas humanas são uma séria ameaça global e cada nação está olhando para as opções possíveis para reduzi-las pois suas consequências são alarmantes. Este trabalho propõe uma pegada integrada como ferramenta para avaliar os impactos ambientais diretos e indiretos da atividade humana. Com base nas definições das pegadas de carbono, hídrica e ecológica, um modelo empírico foi construído para a avaliação dos impactos ambientais da produção e consumo. Neste trabalho, foi definido, pela primeira vez, o termo “pegada ambiental” como um conjunto de indicadores para acompanhar a pressão humana sobre o planeta sob ângulos diferentes, constituindo-se, assim, o Índice de Sustentabilidade Ambiental Multidimensional (ISAM). Esse índice foi construído na premissa de que nenhum indicador, por si só, é capaz de monitorar de forma abrangente o impacto humano sobre o meio ambiente; os indicadores precisam ser usados e interpretados em conjunto. Semelhanças e diferenças entre os três indicadores são, então, destaque para mostrar como esses

- 
- 1 Dr.; Meteorologista; Professor Associado da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e dos Programas de Pós-Graduação em Meteorologia e de Recursos Naturais; Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq; Endereço: Avenida Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, CEP: 58109-900, Campina Grande, Paraíba, Brasil; E-mail: vicente@dca.ufcg.edu.br (\*) Autor para correspondência.
  - 2 Dr.; Recursos Naturais; Universidade Federal de Campina Grande; Endereço: Avenida Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, CEP: 58109-970, Campina Grande, Paraíba, Brasil; E-mail: daaleixo@uol.com.br
  - 3 Bióloga; Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais Programa da Universidade Federal de Campina Grande, UFCG; Endereço: Avenida Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, CEP: 58109-900, Campina Grande, Paraíba, Brasil; E-mail: rafasilver@ymail.com
  - 4 Dr.; Meteorologista; Professor da Universidade Estadual da Paraíba, UEPB; Endereço: Bairro Universitário; CEP: 58429-500, Campina Grande, Paraíba, Brasil; E-mail: jhugocampos@yahoo.com
  - 5 Dr.; Meteorologista; Professor da Universidade Federal da Paraíba, UFPB; Endereço: *Campus* Universitário I S/Nº, Conjunto Castelo Branco III, CEP: 58051-900, João Pessoa, Paraíba, Brasil; E-mail: lincolneloi@yahoo.com.br

Recebido para publicação em 05/02/2015 e aceito em 22/06/2015

Ambiência Guarapuava (PR) v.11 n.3 p. 639 - 649 Set./Dez. 2015 ISSN 1808 - 0251  
DOI:10.5935/ambiencia.2015.03.09

indicadores se sobrepõem, interagem e se complementam. A revisão conclui que a “pegada ambiental” é adequada para avaliar sustentabilidade.

**Palavras-chave:** pegada hídrica; pegada ecológica; emissões de CO<sub>2</sub>; recursos naturais.

## Abstract

Carbon, ecological and water footprints models are increasingly being used for monitoring personal and domestic use of natural resources. These human footprints are a serious global threat and every nation is looking at the possible options to reduce it since its consequences are alarming. This work proposes an integrated footprint as a tool for assessing the direct and indirect environmental impacts from human activity. Based on the definition of carbon, water and ecological footprints, an empirical model was built for the assessment of the environmental impacts of production and consumption. In this work the term “environmental footprint” was first defined as a set of indicators to track human pressure on the planet from different angles, constituting, therefore, the Environmental Sustainability Index Multidimensional (ISAM). This index is built on the premise that no indicator by itself is able to comprehensively monitor human impact on the environment, but indicators must be used and interpreted together. Similarities and differences among the three indicators are then highlighted to show how these indicators overlap, interact, and complement each other. The review concludes that “footprint environmental” is appropriate to assess sustainability.

**Key words:** water footprint; ecological footprint; CO<sub>2</sub> emissions; natural resources.

## Introdução

O termo desenvolvimento sustentável é claramente carregado de valores, nos quais existe uma forte relação entre os princípios, a ética, as crenças e os valores que fundamentam uma sociedade ou comunidade e sua concepção de sustentabilidade. A diferença nas definições é decorrente das diferentes abordagens que se tem sobre o conceito. O conceito dominante de desenvolvimento sustentável consiste em descobrir como o planeta pode proporcionar recursos suficientes para assegurar o bem estar das pessoas em toda parte (KOEHLER, 2008).

A elaboração de indicadores de sustentabilidade ambiental contemplando a pegada hídrica, pegada ecológica e pegada de carbono pode ser uma iniciativa construtiva no estudo do meio ambiente. Nesse sentido, várias tentativas têm sido feitas recentemente para desenvolver uma abordagem integrada com essas três pegadas para a avaliação dos impactos ambientais e consumo (GILJUM et al., 2011; NICCOLUCCI et al., 2010). Nesse contexto, Galli et al. (2012) propuseram, pela primeira vez, um conceito integrado da família das pegadas como um conjunto de indicadores para acompanhar a pressão humana sobre o planeta. Esses autores argumentam ainda que os indicadores de sustentabilidade precisam

ser usados e interpretados em conjunto para a avaliação dos impactos ambientais de produção e consumo.

No início de 1990 o conceito de pegada ecológica (PE) foi introduzido como uma medida da apropriação humana das áreas biologicamente produtivas por William Rees e Mathis Wackernagel (REES, 1992, 1996; WACKERNAGEL et al., 2004, 2005). Cerca de dez anos depois, foi lançado em Delf, na Holanda um conceito similar denominado de pegada hídrica (PH) para medir a apropriação humana da água doce no globo (HOEKSTRA; HUANG, 2002). Muito embora ambos os conceitos tenham raízes e métodos de medição diferentes, em alguns aspectos os dois conceitos têm em comum o fato de traduzem o uso de recursos naturais pela humanidade (HOEKSTRA, 2009). A PE expressa o uso de espaço (hectares), enquanto a PH mede o uso total de recursos de água doce (em metros cúbicos por ano). Por outro lado, a pegada de carbono é uma medida dos impactos causados pelas atividades humanas sobre o meio ambiente, e em particular das mudanças climáticas. Ela mede a quantidade total de emissões de gases que provocam o efeito estufa (GGE) que são diretamente e indiretamente causadas por algum tipo de atividade (de indivíduos, populações, governos, empresas, organizações, processos, setores da indústria, dentre outros) ou ao longo do ciclo de vida do produto (HERTWICH; PETERS, 2009).

Na busca por um planeta mais sustentável e à semelhança do que ocorre com a pegada ecológica e a pegada de carbono, nos últimos anos têm sido apresentadas sugestões para redução da pegada hídrica, incluindo o compromisso de neutralidade em relação ao uso de água (água neutra). Essas medidas são

importantes no manejo dos recursos hídricos haja vista que a água doce é escassa e representa apenas 2,5% do volume total do planeta (GLEICK, 2000).

A hipótese deste trabalho consiste em avaliar se um índice que integra as informações de pegada hídrica, pegada ecológica e pegada de carbono constituem-se numa ferramenta eficiente na avaliação do grau de sustentabilidade ambiental de indivíduos e/ou comunidades. Assim, a presente revisão de literatura tem como objetivo explorar os conceitos de pegada hídrica, pegada ecológica e pegada de carbono com vistas a formulação de um indicador de sustentabilidade ambiental baseado na família de pegadas ambientais.

## **Desenvolvimento**

### **Pegada hídrica**

Nos dias atuais, a água doce tem se tornado um recurso global desejado em função do crescente comércio internacional cujo processo produtivo faz uso intenso de água, como em grãos, fibras e bioenergia (HOEKSTRA; CHAPAGAIN, 2007). Como resultado, o uso dos recursos hídricos está espacialmente desconectado do local de consumo. A pegada hídrica (PH) de um produto, bem ou serviço, é igual ao volume de água doce utilizado no processo de produção daquele bem no local onde foi utilizado, dentro e/ou fora do território nacional. Os resultados geralmente são expressos em m<sup>3</sup>/ano ou m<sup>3</sup>/per capita/ano. O conceito de PH contempla a informação baseada no conceito de água virtual e demonstra a quantidade real de água necessária para satisfazer e sustentar a necessidade humana (HOEKSTRA et al., 2011). Em relação aos

principais fluxos de água virtual no mundo, estão relacionados à utilização nas culturas de soja (11%), trigo (9%), arroz (6%) e algodão (4%) (HOEKSTRA; CHAPAGAIN, 2008).

Os conceitos de água virtual e pegada hídrica são utilizados com frequência como sinônimos, porém apresentam fundamental diferença, pois permite identificar os agentes responsáveis pelo “consumo” de água, sejam eles produtores ou consumidores finais. A água virtual é definida como um indicador físico da quantidade necessária para produzir os bens e serviços que serão consumidos por um determinado território ou indivíduo (ALDAYA et al., 2010). Sendo assim, a água virtual se consolida como um indicador a partir de um ponto de vista da produção, enquanto a PH é um indicador com uma perspectiva do processo de consumo (FENG et al., 2011). A ideia de levar em consideração o uso da água ao longo das cadeias de abastecimento ganhou destaque e interesse após a introdução do conceito. A PH é um indicador de uso de água doce que se traduz não só no uso direto de água por parte do produtor ou consumidor, mas também no uso indireto. Portanto, trata-se de um conceito multidimensional, que revela os volumes de consumo de água por fonte e volume de água poluída por tipo de poluição. Todas as componentes de uma pegada hídrica são geograficamente e temporariamente especificadas (CHAPAGAIN; ORR, 2009).

A pegada hídrica oferece uma melhor e mais ampla perspectiva acerca da utilização de sistemas de água doce por parte dos produtores e consumidores, apresentando-se como uma medida volumétrica do consumo de água e níveis de poluição. O impacto ambiental causado na localidade proporcionado pelo consumo de água e nível de poluição depende da vulnerabilidade do

sistema de água da localidade, bem como do número de consumidores e agentes poluidores que utilizam diretamente desse mesmo sistema. Os cálculos da pegada hídrica conduzem a discussões acerca da sustentabilidade e equidade do uso da água, bem como do seu processo de distribuição, proporcionando também uma boa base para avaliação dos impactos ambientais causados na localidade, quer seja em relação aos aspectos ambientais, sociais e econômicos (ERCIN et al., 2011).

### **Pegada hídrica direta e indireta**

A pegada hídrica direta diz respeito ao consumo de água e nível de poluição relacionado ao uso de água na residência ou no ato de regar o jardim, por exemplo. Já a pegada hídrica indireta refere-se ao consumo e nível de poluição que estão diretamente associados ao processo de produção de bens e serviços que são utilizados pelos consumidores (CHAPAGAIN et al., 2006). Assim, percebe-se que, no geral, a pegada hídrica indireta é superior à pegada hídrica direta. No entanto, por ser “invisível”, é geralmente negligenciada. A maior parte da pegada hídrica utilizada por um consumidor está associada aos produtos e serviços que consome e não a quantidade de água para consumo doméstico. Em se tratando de empresas, grande parte tem a sua pegada hídrica na cadeia de abastecimento (pegada hídrica indireta) e não no processo de produção (pegada hídrica direta), visto que medidas aplicadas na cadeia de abastecimento levam a custos mais eficazes (HUBACEK et al., 2009).

### **Pegada hídrica interna e externa**

A pegada hídrica interna está relacionada à utilização dos recursos hídricos

do país para produzir bens e serviços para serem consumidos pela sua própria população, enquanto que a pegada hídrica externa está relacionada à quantidade de recursos hídricos utilizados em outro país para produção de bens e serviços que são consumidos pela população através do processo de importação (CHAPAGAIN; HOEKSTRA, 2007).

### **Pegada hídrica azul**

A pegada hídrica azul é um indicador de uso consuntivo de água doce superficial ou subterrânea que está diretamente dependente das variáveis hidrológicas que por sua vez regulam o ciclo hidrológico, tais como: precipitação, evaporação, escoamento superficial, infiltração, dentre outras (HOEKSTRA, 2011). O termo “consuntivo” refere-se aos seguintes casos: (i) água evaporada; (ii) água que é incorporada ao produto; (iii) água que não retorna a bacia hidrográfica de origem; e (iv) água que retorna a bacia hidrográfica de origem em outro período. Dentre todas as componentes do ciclo hidrológico, a evaporação é considerada a de maior significância, sendo que em alguns casos é considerada de uso consuntivo. Dessa forma, vale salientar que o uso consuntivo de água não significa que a água desaparece, pois em sua grande parte retoma de forma natural o ciclo hidrológico.

Pelo fato da água ser um recurso renovável, não quer dizer que seja limitada a sua disponibilidade. Em determinados períodos, a quantidade de água necessária para recarregar as reservas subterrâneas que por sua vez flui através de um rio, é considerada limitada considerando um determinado montante. Assim, a pegada hídrica azul mede a quantidade de água disponível consumida num determinado

período do ciclo. Dessa forma, essa pegada fornece informações relativas à quantidade de água azul que os seres humanos consomem. Já a parte restante que não é consumida pelos seres humanos é destinada à manutenção dos ecossistemas que dependem de água superficial e subterrânea (HOEKSTRA; CHAPAGAIN, 2005). A unidade de medida da pegada hídrica azul é dada pela relação do volume de água por unidade de tempo, e quando dividida pelo pela quantidade de produto resultante do processo pode também ser expressa em termos de volume de água por unidade de produto.

### **Pegada hídrica verde**

A pegada hídrica verde é um indicador do consumo humano relacionado diretamente da precipitação. Essa pegada diz respeito à precipitação que chega até a superfície terrestre e por sua vez é armazenada no solo ou por um determinado espaço temporal fica armazenada na superfície ou na vegetação, ou seja, não sendo infiltrada ou escoada (MEKONNEN; HOEKSTRA, 2010). Portanto, parte dessa fração de precipitação é absorvida pelas plantas ou passa pelo processo de evaporação de modo a tornar-se produtiva. A pegada hídrica verde representa o volume de água da chuva que é consumida durante o processo de produção. Essa informação é relevante principalmente para os produtos advindos da silvicultura e da agricultura, pois também se refere ao processo de evapotranspiração das culturas, além da incorporação da água de chuva pelos produtos. É importante a distinção entre a pegada hídrica azul e a pegada hídrica verde, pois os impactos ambientais, sociais e hidrológicos, bem como os custos de oportunidade do uso das águas subterrâneas e superficiais destinadas à produção diferem

distintamente dos impactos e custos através da utilização da água captada da chuva (HOEKSTRA; CHAPAGAIN, 2008).

### **Pegada hídrica cinza**

A pegada hídrica cinza é um indicador que mostra o grau de poluição de água doce. Ela é definida como o volume de água doce necessária para absorver a carga de poluentes baseados nos padrões atuais de qualidade ambiental da água. Atualmente, poucos são os estudos acerca da temática, pois depende diretamente de inúmeros parâmetros químicos dessas águas, e o processo de monitoramento ainda é muito deficitário (HOEKSTRA; HUNG, 2005). A concentração natural de um corpo receptor é a concentração na massa de água que ocorreria se não houvesse interferências humanas no processo de captação. As substâncias de origem humana que, em condições naturais, estariam presentes na água e quando as concentrações naturais não são conhecidas com precisão, estima-se que sejam baixas, daí se admite que a concentração natural na massa de água receptora é considerada nula.

### **Pegada ecológica**

Nos últimos anos, vários indicadores têm sido desenvolvidos para medir a sustentabilidade, inclusive o método da pegada ecológica, que é um dos mais conhecidos e utilizados em escala global. O método fundamenta-se no conceito de capacidade de carga, reforçando a premissa de sensibilizar a sociedade por meio do apelo de que os recursos naturais são finitos. No início da década de 90, o conceito da pegada ecológica (PE) foi introduzido como uma medida da área de terra biologicamente produtiva, necessária para produzir os recursos renováveis em relação à forma

como a população consome e assimila os resíduos que gera. A pegada ecológica global, em 2003, foi de 14,1 bilhões de hectares no globo, sendo que mais da metade (52%) em florestas para a compensação das emissões de CO<sub>2</sub> (KITZES et al., 2009). A PE expressa as demandas diretas e indiretas da humanidade para a produção de recursos renováveis e assimilação de CO<sub>2</sub> e as compara com a capacidade ecológica do planeta. Esse tipo de pegada pode ser aplicado em escalas que variam de simples produtos, cidades, regiões, países e até o mundo como um todo (GALLI et al., 2012)

A pegada ecológica é uma medida imposta por uma determinada comunidade sobre os recursos naturais. Ela representa o espaço geográfico natural correspondente para manter, em equilíbrio, um determinado sistema ou unidade (WACKERNAGEL; REES, 1996). Dessa forma, a pegada ecológica apresenta a extensão de área que a humanidade explora da natureza para determinar uma produtividade expressa em termos de área apropriada. A carga imposta ao ambiente natural está diretamente relacionada ao consumo *per capita* da população. Essa ferramenta de análise de sustentabilidade é considerada de simples e fácil compreensão, pois contabiliza os fluxos de materiais e energia que entram e saem de um sistema econômico, e esses fluxos são convertidos em área correspondente de terra e água existente no ambiente natural para que o sistema se mantenha em equilíbrio.

A pegada ecológica evidencia os impactos das atividades antropogênicas no sistema natural, auxiliando o processo de tomada de decisão, de modo que venha proporcionar benefícios a ambas as partes: sociedade e meio ambiente. Os valores da pegada ecológica e a biocapacidade são usados para expressar um aspecto fundamental

da sustentabilidade: a apropriação humana da capacidade regenerativa da Terra. Esses conceitos analisam a condição humana a partir de ângulos diferentes, sob a suposição de que a capacidade regenerativa da Terra será provavelmente um dos fatores limitantes para a economia humana, se a demanda humana continua a superar o que a biosfera pode renovar. Outros aspectos da PE podem ser encontrados em Kitzes et al. (2009). Diante do exposto, o método da PE aponta a quantidade de recursos naturais em determinado espaço geográfico demarcado, oferece e suporta; de carga imposta pela sociedade sobre o ambiente natural, bem como, procura estimular a consciência ambiental reforçando a lógica de que a sociedade depende diretamente da conservação do ecossistema para continuar sua existência.

### **Pegada de carbono**

A pegada de carbono humano é considerada uma ameaça muito séria em escala global, e cada nação está olhando as opções possíveis para reduzi-lo, uma vez que suas conseqüências são alarmantes. A pegada de carbono (PC) mede a quantidade total de emissões de GEE que são causadas direta e indiretamente por uma atividade ou são acumuladas ao longo dos estágios de vida de um produto (MUTHU et al., 2011). Isso inclui atividades de indivíduos, populações, governos, empresas, organizações, processos, setores da indústria, etc. Em qualquer caso, todas as fontes devem ser levadas em consideração. Apesar do nome, a pegada de carbono não é expressa em termos da área. A quantidade total de gases de efeito estufa é simplesmente medida em unidades de massa, expressa kg ou ton de dióxido de carbono equivalente (HERTWICH; PETERS, 2009)

Para a promoção de neutralização das emissões de GEE, deve-se, em primeiro lugar, realizar o inventário das suas emissões. Dentre as vantagens proporcionadas, o inventário pode fornecer informações valiosas acerca dos riscos e oportunidades de atuar em uma economia com restrição de carbono. De forma estratégica, tais informações podem ser relevantes para manter a licença de operação da empresa, assegurar sucesso de longo prazo no ambiente competitivo de negócios e estar em conformidade com políticas emergentes nacionais, regionais e internacionais dirigidas para reduzir as emissões corporativas de GEE (BINGA et al., 2011)). Portanto, o inventário das emissões totais de gases, num processo produtivo de uma empresa, constitui-se justamente na “Pegada de Carbono”.

A origem do termo “pegada de carbono” é remetida ao conceito de “pegada ecológica” - um indicador de sustentabilidade ambiental que quantifica os recursos materiais e energéticos que uma determinada população humana necessita para produzir os recursos que consome e para absorver seus resíduos com as tecnologias disponíveis, em um determinado intervalo de tempo. Para se obter o cálculo da pegada de carbono, tem-se a soma da pegada primária e secundária. A pegada primária é uma medida das emissões diretas de CO<sub>2</sub>, que são provenientes da queima de combustíveis fósseis, incluindo, também, o consumo de energia elétrica para uso doméstico e dos transportes (SINDEN, 2009). Essa é a fração que o ser humano é capaz de controlar, podendo assim reduzi-la. Já a pegada secundária mede as emissões indiretas de CO<sub>2</sub> presente em todo ciclo de vida dos produtos que é consumido, representando as emissões ligadas desde o processo de produção até sua eventual eliminação.

A pegada de carbono é calculada pela análise do Ciclo de Vida (ACV) de produtos e seus processos produtivos, permitindo o estudo da reparação dos danos ambientais provocados pelas emissões de GEE (WIEDMANN; MINX, 2007; WEIDEMA et al., 2008). A ACV é um dos métodos para investigar, estimar e avaliar as cargas ambientais causadas por materiais, produtos, processos, ou serviços ao longo de seu tempo de vida. Vale salientar que as cargas ambientais incluem os materiais e recursos energéticos requeridos para criar algum produto, assim como os resíduos e emissões geradas durante os processos produtivos.

Modelos ou calculadoras para se obter a família de pegadas ambientais são encontrados facilmente na Internet e tais modelos variam em função da relevância e complexidade. A seguir, são exibidos os endereços da web de cada uma das pegadas ambientais.

(i) pegada de carbono: <<http://www.keyassociados.com.br/calculadora-de-emissao-co2-carbono.php>>;

(ii) pegada hídrica <[http://www.waterfootprint.org/?page=cal/waterfootprintcalculator\\_indv](http://www.waterfootprint.org/?page=cal/waterfootprintcalculator_indv)>;

(iii) pegada ecológica: <[http://myfootprint.org/en/your\\_carbon\\_footprint/](http://myfootprint.org/en/your_carbon_footprint/)>.

### **Modelo de sustentabilidade ambiental**

Os três indicadores de sustentabilidade (pegada de carbono, pegada ecológica e pegada hídrica) que constituem, neste estudo, a pegada ambiental, foram selecionados devido a sua abrangência e potencial de pesquisa na área ambiental. Cada um desses indicadores caracteriza-se efetivamente pela sua própria metodologia de cálculo como relatado na literatura científica: pegada de carbono (MUTHU et al., 2011); pegada

ecológica (KITZES et al., 2009) e pegada hídrica (HOEKSTRA, 2009).

O índice de sustentabilidade proposto nesta revisão deve incluir a família de pegadas (pegada ambiental) e que seja capaz de expressar a pressão humana sobre o meio ambiente. A pressão humana é, então, definida como a apropriação de recursos naturais biológicos, as emissões dos gases do efeito estufa e o consumo e poluição de água doce. Dessa forma, apresenta-se o modelo ISAM (Índice de Sustentabilidade Ambiental Multidimensional) que integra todos os impactos que uma fonte de pressão humana sobre o meio ambiente (indivíduo, comunidade, cidade, estado, nação, etc.) pode provocar no meio ambiente, cuja equação é a seguinte:

$$ISAM = \left( \frac{PH}{PH_m} + \frac{PE}{PE_m} + \frac{PC}{EC_m} \right) / 3 \quad (1)$$

em que: ISAM é o índice de sustentabilidade ambiental multidimensional; PH, PE e PC representam, respectivamente, as médias das pegada hídrica, pegada ecológica e a pegada de carbono; PH<sub>m</sub>, PE<sub>m</sub> e PC<sub>m</sub> (com barras) representam, respectivamente, as médias mundial da pegada hídrica, pegada ecológica e pegada de carbono. Dessa forma, tem-se:

$ISAM \leq 1$  = a fonte de pressão humana é ambientalmente sustentável.

$ISAM > 1$  = a fonte de pressão humana não é ambientalmente sustentável.

Nesse índice, as três principais partes do ecossistema são monitorizadas – biosfera, atmosfera e hidrosfera - através da pegada de carbono, pegada ecológica e pegada hídrica, respectivamente. Esse novo índice de sustentabilidade tem uma vasta gama de aplicações, pois pode ser empregado em escalas que vão desde um único produto, um processo,



um setor, indivíduos, cidades, nações e todo o mundo. Esse índice pode fornecer resposta a três questões específicas da pressão humana sobre o meio ambiente e ajuda, de forma mais abrangente, a monitorar o pilar ambiental da sustentabilidade. No entanto, ele não é uma medida completa de sustentabilidade, pois não envolve as questões econômicas e sociais.

## Conclusões

Esta revisão apresentou e ilustrou um protótipo de um indicador de sustentabilidade

para medir o impacto da pressão humana sobre o meio ambiente. Os resultados desta revisão permitem concluir que, em face de sua simplicidade de cálculo, o modelo ISAM pode ser utilizado em qualquer área geográfica para avaliar o impacto da pressão humana sobre o meio ambiente. Além disso, ao reunir as pegadas de carbono, ecológica e hídrica em uma única estrutura conceitual, é possível fornecer, aos tomadores de decisão, uma ferramenta que lhes permita dar o primeiro passo para uma avaliação de sustentabilidade multidimensional.

## Referências

ALDAYA, M. M. et al. Incorporating the water footprint and virtual water into policy reflections from the Mancha Occidental region, Spain. **Water Resources Management**, v. 24, p. 941-958, 2010.

BINGA, YU. et al. Research and Development of Carbon Footprint Analysis In Hunan Province. **Energy Procedia**, v. 5, p. 1210-1217, 2011.

CHAPAGAIN, A. K.; HOEKSTRA, A. Y. The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands. **Ecological Economics**, v. 64, n.1, p.109-118, 2007.

CHAPAGAIN, A. K. et al. The water footprint of cotton consumption: an assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. **Ecological Economics**, v. 60, p.186-203, 2006.

CHAPAGAIN, A. K.; ORR, S. An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resources: a case of Spanish tomatoes. **Journal of Environmental Management**, v. 90, p. 1219-1228, 2009.

ERCIN, A. E. et al. Corporate water footprint accounting and impact assessment: the case of the water footprint of sugar-containing carbonated beverage. **Water Resources Management**, v. 25, p. 721-741, 2011.

FENG, K. et al. Assessing regional virtual water flows and water footprints in the Yellow River Basin, China: A consumption based approach. **Applied Geography**, v. 32, p.691-701, 2011.

GALLI, A. et al. Integrating Ecological, Carbon and Water footprint into a “Footprint Family” of indicators: Definition and role in tracking human pressure on the planet. **Ecological Indicators**, v. 16, p.100-112, 2012.

GILJUM, S. et al. Comprehensive set of resource use indicators from the micro to the macro level. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, p. 300-308, 2011.

GLEICK, P. H. The changing water paradigm: a look at twenty-first century water resources development. **Water International**, v. 25, p.127-138, 2000.

HERTWICH, E. G.; PETERS, G. P. Carbon footprint of nations: a global, trade-linked analysis. **Environmental Science and Technology**, v. 43, p. 6414-6420, 2009.

HOEKSTRA, A. Y.; HUANG, P. Q. **Virtual water trade**: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Value of Water Research Report Series. Institute for Water Education. Holanda: UNESCO-IHE, 2002. 66 p.

HOEKSTRA, A. Y.; HUNG, P. Q. Globalization of water resources: international virtual water flows in relation to crop trade. **Global Environmental Change**, v. 15, n. 1, p. 45-56, 2005.

HOEKSTRA, A.; CHAPAGAIN, A. K. Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. **Water and Resource Management**, v. 21, p. 35-48, 2005.

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K. The water footprints of Morocco and the Netherlands: global water use as a result of domestic consumption of agricultural commodities. **Ecological Economics**, v. 64, n. 1, p. 143-151, 2007.

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K. **Globalization of Water**: Sharing the planet's fresh Water resources. Oxford: Backwell Publishing, 2008.

HOEKSTRA, A. Y. Human appropriation of natural capital: A comparison of ecological footprint and water footprint analysis. **Ecological Economics**, v. 68, p. 1963-1974, 2009.

HOEKSTRA, A. Y. How sustainable is Europe's water footprint? **Water and Wastewater International**, v. 26, p. 24-26, 2011.

HOEKSTRA, A. Y. et al. **The water footprint assessment manual**. 1. ed. London: Water Footprint Network, 2011, 224 p.

HUBACEK, K. et al. Environmental implications of urbanization and lifestyle change in China: Ecological and Water Footprints. **Journal of Cleaner Production**, v.17, p.1241-1248, 2009.

KITZES, J. et al. A research agenda for improving national Ecological Footprint accounts. **Ecological Economics**, v, 68, n. 7, p. 1991-2007, 2009.

KOEHLER, A. Water use in LCA: managing the planet's freshwater resources. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 13, p. 451-455, 2008.

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. A global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 14, p. 1259-1276, 2010.

- MUTHU, S. S. et al. Carbon footprint of shopping (grocery) bags in China, Hong Kong and India. **Atmospheric Environment**, v.45, p.469-475, 2011.
- NICCOLUCCI, V.; RUGANI, B.; BOTTO, S.; GAGGI, C. An integrated footprint based approach for environmental labeling of products: the case of drinking bottled water. **International Journal of Design and Nature and Ecodynamics**, v. 5, n. 1, p. 68-75, 2010.
- REES, W. E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out. **Environment and Urbanization**, v. 4, n. 2, p. 121-130, 1992.
- REES, W. E. Revisiting carrying capacity: area-based indicators of sustainability. **Population and Environment**, v. 17, n. 3, p. 195-215, 1996.
- SINDEN, G. The contribution of PAS 2050 to the evolution of international greenhouse gas emission standards. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 14, p. 195-203, 2009.
- WACKERNAGEL, M. et al. Ecological footprint time series of Austria, the Philippines, and South Korea for 1961–1999: comparing the conventional approach to an actual land area approach. **Land Use Policy**, v.21, p.261-269, 2004.
- WACKERNAGEL, M. et al. **National footprint and biocapacity accounts 2005**. Oakland, CA, The underlying calculation method, Global Footprint Network, , 2005.
- WACKERNAGEL, M.; REES, W. **Our ecological footprint: reducing human impact on the earth**. 6. ed. Canada: New Society Publishers, 1996.
- WIEDMANN, T.; MINX, J. A Definition of “Carbon Footprint”. ISA (UK) **Research & Consulting**, UK, 2007.
- WEIDEMA, B. P.; THRANE, M.; CHRISTENSEN, P.; SCHMIDT, J. H.; LØKKE, S. Carbon footprint - a catalyst for life cycle assessment? **Journal of Industrial Ecology**, v.12, n.1, p. 3-6, 2008.