



## Avaliação de impactos do uso da terra em serviços ecossistêmicos

PAVAN, A. L. R.<sup>1</sup>; ALMEIDA NETO, J. A.<sup>2</sup>; FIGUEIRÊDO, M. C. B.<sup>3</sup>; ALVARENGA, R.A.F.<sup>4</sup>; OMETTO, A. R.<sup>1</sup>; KABE, Y. H.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP), laurarpavan@gmail.com

<sup>2</sup>Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC)

<sup>3</sup>Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

<sup>4</sup>Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)

<sup>5</sup>BRASKEM

**Resumo.** Estudos recentes vêm sendo destinados à redução de incertezas na Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) por meio de avaliações regionalizadas que considerem a diferenciação espacial tanto na criação de conjuntos de dados para o Inventário do Ciclo de Vida (ICV) quanto nos métodos de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV). Neste contexto foi proposta a criação em outubro 2014 da Rede de Pesquisa em Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (RAICV), cujos objetivos incluem potencializar a formação e a interação entre grupos de pesquisa existentes no desenvolvimento, aperfeiçoamento e recomendações de métodos de AICV aplicáveis à realidade brasileira. Dentre as categorias de impacto estudadas estão os impactos sobre serviços ecossistêmicos devido ao uso da terra, os quais são diretamente influenciados pelas condições locais e fatores biogeográficos. Este trabalho objetivou levantar os modelos de caracterização existentes para avaliação de impactos aos serviços ecossistêmicos e analisá-los de modo preliminar para um trabalho futuro no qual serão feitas recomendações de metodologias adequadas para o contexto brasileiro. Para tanto, foi realizado um levantamento bibliográfico dos estudos disponíveis na base de dados Web of Knowledge por meio do uso das palavras-chave: Life Cycle Assessment, Life Cycle Impact Assessment, Land use, Ecosystem services e Characterization model. Foram identificados 13 modelos de caracterização, os quais foram analisados de acordo com um conjunto de critérios definidos e validados pelos pesquisadores da rede: (i) Escopo do modelo, (ii) Robustez científica e (iii) Regionalização. Os resultados permitiram identificar algumas limitações na aplicação dos modelos de caracterização quanto ao critério escopo, devido principalmente à falta de operacionalidade, restrições na abrangência de aplicação ou baixa diferenciação entre os tipos de uso da terra. Quanto à robustez científica, as principais limitações se referem à falta de transparência e de documentação das variáveis que compõem alguns modelos. Após esta primeira análise, estudos futuros são direcionados a uma avaliação quantitativa do desempenho destes modelos de caracterização a fim de fornecer recomendações para a avaliação dos impactos aos serviços ecossistêmicos em estudos de ACV no país.

**Palavras-chave:** Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida; Uso da terra; Serviços Ecossistêmicos; Regionalização.

## Introdução

Uma das questões que vem gerando discussões nos últimos anos dentro do campo da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) refere-se à questão da regionalização, ou seja, a consideração das variações nos impactos entre diferentes regiões geográficas, além da adequação da avaliação dos impactos ambientais frente ao contexto brasileiro. Neste sentido, destaca-se a criação da Rede de Pesquisa em Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (RAICV), organização civil, não governamental, sem fins lucrativos, que busca recomendar, adaptar e desenvolver modelos de caracterização para Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV), considerando o contexto ambiental e socioeconômico brasileiro.

Dentre os impactos quantificados na (AICV) e contemplados nos estudos da RAICV estão aqueles relacionados ao uso da terra. Recentemente estudos apontam que os impactos resultante de atividades de transformação e ocupação da terra devem ser medidos com diferentes indicadores que expressam não só o valor intrínseco da biodiversidade, mas também os efeitos nos serviços ecossistêmicos (KOELLNER et al., 2013b). Definido como benefícios relevantes para a sociedade gerados pelos ecossistemas, o conceito de serviços ecossistêmicos teve difusão no meio acadêmico e empresarial a partir da Avaliação Ecossistêmica do Milênio (MEA, 2005) e mais recentemente foi inserido nos estudos de ACV (KOELLNER; GEYER, 2013; ZHANG et al., 2010a,b).

A classificação mais utilizada é dada pela Avaliação Ecossistêmica do Milênio (MEA, 2005) e compreende em quatro categorias: serviços de provisão, suporte, regulação e serviços culturais. Serviços de provisão fornecem bens ou produtos ambientais diretamente utilizados pelo ser humano para consumo ou comercialização, tais como água, alimentos, madeira e fibras (FREIRE, 2013). Os serviços de suporte mantêm o habitat dos seres vivos e sua diversidade genética, compreendendo a manutenção ou a renovação da fertilidade do solo, produção primária, polinização, etc. Já os serviços de regulação se relacionam às características regulatórias dos processos



ecossistêmicos, como a manutenção dos processos ecológicos essenciais e dos sistemas de suporte à vida. Como exemplo pode-se citar a manutenção da qualidade do ar, a regulação climática, regulação de doenças, regulação e purificação de água e regulação de danos naturais, polinização. Serviços culturais são bens não materiais que a sociedade adquire da natureza, tais como lazer, turismo, entre outros. Destaca-se que este tipo de serviço ecossistêmico não faz parte do escopo do presente trabalho, mas que pode ser considerada uma importante lacuna de pesquisa a ser abordada sob o âmbito da Avaliação Social do Ciclo de Vida.

Segundo Milà i Canals et al. (2007a), impactos do uso da terra em geral são altamente influenciados pelas condições locais e dependem de muitos fatores biogeográficos como paisagem, clima, padrões da vegetação e propriedades do solo. A transformação e ocupação em determinado espaço geográfico, bem como a gestão dos impactos ambientais derivados, devem se basear no reconhecimento das potencialidades e fragilidades dos fatores físicos, biológicos e antrópicos que compõem esse meio frente às características das atividades ali instaladas. Nesse sentido, uma avaliação em nível genérico pode levar a resultados que não refletem adequadamente a magnitude destes impactos, resultando em grandes incertezas ligadas à variabilidade espacial (SAAD et al., 2011). Desta forma, este trabalho teve como objetivo levantar os modelos de caracterização existentes para avaliação de impactos aos serviços ecossistêmicos e analisá-los de modo preliminar para um trabalho futuro no qual serão feitas recomendações de metodologias adequadas para o contexto brasileiro.

## Metodologia

Para compreender o estado da arte da avaliação de impactos à serviços ecossistêmicos devido o uso da terra na AICV e identificar os principais modelos de caracterização disponíveis, adotou-se o levantamento bibliográfico de documentos disponíveis na base de dados *Web of Knowledge*, publicados até dezembro de 2014, além de guias e documentos normativos associados a metodologias de AICV reconhecidos pela comunidade científica. Nas buscas foram utilizadas palavras-chave como *Life Cycle Assessment*, *Life Cycle Impact Assessment*, *Land use*, *Ecosystem services* e *Characterization model*.

Foram identificados e selecionados 13 modelos de caracterização para serem analisados de acordo com uma matriz de critérios definidas pelos especialistas que compõem a RAICV, representando requisitos para uma boa modelagem em termos de sua base científica e regionalização. Os critérios que nortearam a análise qualitativa dos modelos de caracterização foram estabelecidos com base em JRC (2011) e estão amplamente descritos em Ugaya et al. (2016). São eles: Escopo do modelo, subdivido nos seguintes tópicos: i) Indicação se o modelo é operacional, ou seja, se existem fatores de caracterização (FCs) disponíveis para serem aplicados; ii) Classificação quanto ao tipo de Serviço Ecossistêmico; iii) Abrangência do escopo de aplicação em termos de diferenciação espacial; iv) Abrangência do escopo de aplicação em termos de tipos de uso da terra; e v) Classificação frente ao mecanismo ambiental, sendo *midpoint* ou *endpoint*. O segundo critério aplicado foi de Robustez Científica, compreendendo os seguintes subcritérios: i) fazer parte de método de AICV reconhecido pela comunidade científica; ii) apresentar a cadeia de causa e efeito da categoria de impacto; iii) acessibilidade e transparência das equações do modelo; e iv) acessibilidade e transparência das variáveis. Por fim, o critério Regionalização visou identificar se são fornecidos fatores de caracterização para o Brasil, em qual escala geográfica e se o modelo pode ser regionalizado para o contexto brasileiro.

## Resultados e discussão

De modo geral, é possível afirmar que esforços interdisciplinares ainda são necessários para se alcançar um consenso para uma avaliação eficiente dos impactos aos serviços ecossistêmicos em AICV. Os resultados da análise são apresentados Quadro 1 a seguir, de maneira a discutir as particularidades de cada modelo de caracterização, os avanços que trazem à temática de Serviços Ecossistêmicos na ACV e as limitações e barreiras que ainda existem na sua aplicação.

Ao analisar o Escopo dos modelos de caracterização, observou-se que 7 dos 13 modelos são operacionais, ou seja, apresentam fatores de caracterização prontos para aplicação, sendo que destes, 5 apresentam abrangência de aplicação global. Quanto ao item ligado à abrangência do escopo de aplicação em termos de tipos de uso da terra foram verificadas as maiores limitações nos modelos. A modelagem dos impactos aos serviços ecossistêmicos devido ao uso da terra idealmente deveria diferenciar diferentes tipos e intensidade de uso da terra, incluindo práticas de manejo. No entanto, observa-se que a maioria dos modelos não atinge altos níveis de diferenciação, não havendo modelo suficientemente robusto quanto a este subcritério.



# V Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida

19 a 22 de Setembro 2016 - Fortaleza, CE

Quadro 1: Características dos modelos de caracterização, vantagens e limitações.

Modelo de caracterização	Indicador	Observações
Arbault et al. (2014)	Regulação do clima; Uso da água; Formação do solo; Ciclagem de nutrientes; e Matéria orgânica	Este artigo tem uma abordagem diferente da maioria das publicações visto que demonstra a viabilidade de uma modelagem dinâmica e integrada para gerar fatores de caracterização que levam em consideração a complexidade dos processos naturais da oferta de serviços ecossistêmicos. No entanto, trata-se de um modelo conceitual que apresenta algumas limitações na abrangência dos tipos de uso da terra e aplicabilidade na ACV. Logo, não havendo fatores de caracterização disponíveis o critério de abrangência geográfica não se aplica. Apesar de não fazer parte de um método de AICV tradicional, utiliza o modelo GUMBO, reconhecido na área de Serviços Ecossistêmicos. De modo geral apresenta uma robustez científica mediana, com limitações no que tange à transparência e acessibilidade.
Beck et al. (2010)	Resistência à erosão hídrica; Capacidade de filtração mecânica; Capacidade de filtração físico-química; e Capacidade de recarga de águas subterrâneas	Nesta publicação, a ferramenta de cálculo operacional ( <i>Land Use Indicador Calculation Tool</i> , LANCA®) foi elaborada para tornar o modelo desenvolvido por Baitz (2002) amplamente aplicável. No entanto, apesar de ter um escopo abrangente quanto ao mecanismo ambiental e indicadores utilizados, alta robustez científica, trata-se de um modelo conceitual e não operacional para serviços de regulação.
Brandão & Milà i Canals (2013)	Carbono orgânico no solo	Utiliza como embasamento científico o modelo de Mila i Canals et al. (2007a,b), alterando o indicador de matéria orgânica no solo para carbono orgânico no solo. Desta forma, foi possível criar fatores de caracterização em nível global para serviços de provisão. Portanto, este modelo de caracterização apresenta boa robustez científica e fatores de caracterização para impactos de ocupação e transformação da terra, para diferentes tipos de uso da terra (e.g. agrícola com plantio direto), e diferentes biomas. Para o Brasil é possível encontrar quatro variações regionais de fatores de caracterização devido à escala adotada ser baseada em biomas.
Garrigues et al. (2013)	Compactação do solo	O modelo tem a vantagem de abordar uma via de impacto até então não explorada na ACV, mas de grande importância para estudos que envolvem atividades agrícolas. Apesar de não estar relacionado a um método de AICV, o modelo aborda serviços de regulação e é robusto e utiliza metodologias reconhecidas na área de avaliação de qualidade do solo (e.g. modelo COMPSOIL). No entanto, existem limitações quanto à transparência de parâmetros do modelo bem como o fato de ser um modelo conceitual.
Mila i Canals et al. (2007a) e Mila i Canals et al. (2007b)	Matéria orgânica no solo	Propõe o uso de um indicador (matéria orgânica no solo) para avaliação dos impactos na ocupação e transformação da terra para serviços de suporte. É um modelo de caracterização consagrado na comunidade científica, sendo o recomendado para impactos do uso do solo por ILCD (2011). No entanto, em suas publicações originais, são criados fatores de caracterização genéricos, baseados em dados europeus (Reino Unido e Espanha).
Muller-Wenk & Brandão (2010)	Carbono equivalente fóssil	Avalia o impacto do uso da terra sobre os serviços de regulação (clima), utilizando o potencial de emissão de dióxido de carbono equivalente fóssil como indicador da transformação e ocupação da terra. As estimativas se baseiam num relatório da Comissão Científica do Governo da Alemanha (WBGU, 1998) e IPCC (2000, 2001 e 2007). Gerou FC para transformação e ocupação para biomas globais (incluindo os biomas tropical úmido e seco e temperado), com diferenciação para diferentes tipos de uso da terra (floresta, pradaria, pastagem, cultura anual e área artificial). Segundo o relatório (WBGU, 1998) a disponibilidade de dados para o balanço de Carbono para muitos biomas terrestres era limitada, sendo a extrapolação para aplicação global imprecisa. Considerando que o estudo tem quase 20 anos, é possível que neste período dados tenham sido gerados que possibilitem a extrapolação.
Muñoz et al. (2010)	Massa de dióxido de carbono equivalente (kg CO <sub>2</sub> eq)	O artigo traz uma abordagem nova, considerando alterações no albedo devido a transformações no uso do solo. De maneira geral, estas alterações trazem um benefício ambiental para a categoria Mudanças Climáticas, que pode ser relevante em alguns casos específicos. A abordagem trazida tem embasamento científico, mas foram criados fatores de caracterização apenas para um estudo de caso na Espanha.
Nuñez et al. (2013)	Carbono orgânico no solo, erosão do solo e produção potencial primária líquida (biomassa)	Abordando serviços de regulação, este modelo utiliza simplificações de cálculo combinando a perda do potencial de produção de biomassa (produção potencial primária líquida), perda de solo (PS) e do carbono orgânico do solo (COS) como indicador do impacto na qualidade do ecossistema. O modelo tem abrangência global e vai até o dano final nas três AoP no caso da ocupação do solo. Na estimativa da depleção do recurso solo (erosão), utiliza um coeficiente de energia solar (SEDsoil) como FC. Para avaliação da AoP recurso considera uma resolução espacial de 5 arcmin (10 x 10 km <sup>2</sup> ) e para Qualidade do Ecossistema 30 arcsec (1x1 km <sup>2</sup> ). Apesar de não ter sido utilizado em nenhum método de AICV atual, possui potencial de aplicação futura, por meio de SIG e da utilização de bases de dados digitais regionais de tipos de solos por regiões climáticas, ecorregiões, biomas, etc., com a geração de FCs para midpoint.



## V Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida

19 a 22 de Setembro 2016 - Fortaleza, CE

Quadro 1: Características dos modelos de caracterização, vantagens e limitações (cont.)

Modelo de caracterização	Indicador	Observações
Núñez et al. (2010)	Índices de aridez, de recarga de aquífero, de erosão e risco de incêndio	São considerados no inventário quatro fluxos ambientais: índice de aridez, índice de recarga de aquífero, índice de erosão e índice de risco de incêndio. Não foi considerada a taxa de desmatamento e o índice de escassez hídrica, que são fatores reconhecidos como de grande pressão e relevância no fenômeno da desertificação. O modelo, apesar de ter abrangência global, carece de um maior detalhamento do modo de agregação e ponderação das variáveis e justificativa para utilizada.
Oberhulzer et al (2012)	Utiliza nove indicadores de qualidade do solo para criar um índice, denominado SALCA-SQ. Os indicadores de qualidade do solo são: (1) Profundidade de raízes no solo, (2) volume de macroporos, (3) estabilidade do agregado, (4) teor de carbono orgânico, (5) teor de metais pesados, (6) poluentes orgânicos, (7) biomassa de minhocas, (8) biomassa de microorganismos e (9) atividade de microorganismos.	O modelo aborda diversos indicadores de qualidade do solo e é loco-específico, no entanto não são publicados FCs para aplicação. Apesar de fazer parte do método denominado SALCA, existem limitações quanto à transparência e acessibilidade dos dados da modelagem, além de empregar avaliações qualitativas que comprometem sua robustez científica. É um modelo apropriado para o setor agrícola e, apesar de ser bastante robusto neste tema, sua aplicabilidade para ACV é questionável.
Saad et al. (2011)	Resistência à erosão hídrica; Capacidade de filtração mecânica; Capacidade de filtração físico-química; e Capacidade de recarga de águas subterrâneas	Trata-se de um modelo desenvolvido para o Canadá, com base na publicação de Beck et al. (2010). Abordando serviços de regulação, os autores apresentam de modo claro tanto as variáveis quanto as equações usadas na modelagem. Apesar de não apresentar FCs para o Brasil, este é um estudo que foca a regionalização de métodos de AICV, podendo ser um exemplo à estudos brasileiros.
Saad, Koellner, Margni (2013)	Resistência à erosão hídrica; Capacidade de filtração mecânica; Capacidade de filtração físico-química; e Capacidade de recarga de águas subterrâneas	Os autores apresentam uma abordagem ampliada do modelo proposto por Beck et al. (2010) e Saad et al. (2011), com aplicação global para serviços de regulação. O escopo do modelo é abrangente, fornecendo fatores de caracterização tanto para intervenções de ocupação quanto de transformação, para sete tipos de uso da terra. No entanto, tal classificação dos tipos de uso da terra pode ser considerada demasiadamente ampla, necessitando de uma maior diferenciação entre níveis de manejo. Apesar de não fazer parte de um método de AICV reconhecido pela comunidade científica, o estudo está relacionado ao projeto Impact World + que reuniu esforços para o aprimoramento de estudos de ACV no que tange a regionalização, redução de incertezas e consideração da variabilidade geográfica. Aplicáveis no Brasil, é possível encontrar 18 variações regionais de fatores de caracterização de acordo com a escala adotada (Biomass e Classificação Holdridge - regiões e zonas).
Wagendorp et al (2006)	Temperatura da superfície; Número de resposta térmica; Degradação exergética solar	O modelo tem como fundamento a teoria da "termodinâmica de ecossistema", que ainda é nova e não possui consenso na comunidade científica. A proposta do modelo é avaliar o impacto no uso da terra baseado na eficiência exergética, a partir da resposta da temperatura superficial terrestre, obtida por meio de sensoriamento remoto térmico. O modelo apresenta FC para uma região dos EUA e duas regiões da Bélgica, porém pode ser expandido para a obtenção de FCs globais e nacionais, a partir do levantamento de indicadores localmente específicos como sistema de referência e expressando-o FC como uma porcentagem relativa. O modelo apresentado está bem fundamentado, com todas as equações e variáveis necessárias à obtenção dos FC explicadas e referenciadas, sendo, porém, baseado em um número de fluxos elementares limitado.



No que se refere à robustez científica, nota-se que poucos modelos pertencem a métodos de AICV já comumente empregados em estudos de ACV. No entanto, isso se deve ao fato de boa parte dos avanços sobre o tema terem ocorrido nos últimos anos. Já sobre a transparência e acessibilidade das equações e variáveis componentes dos modelos, é possível notar algumas limitações pontuais, como no caso de Oberholzer et al. (2012) e Muller-Wenk & Brandão (2010). Para o critério Regionalização foram verificados dentre aqueles modelos operacionais, se existem fatores disponíveis para serem aplicados no Brasil e em qual escala. Dessa forma, observa-se que 5 modelos globais são aplicáveis no país. Muller-Wenk & Brandão (2010) e Saad, Koellner, Margni (2013) usam biomas como unidade de escala, Brandão & Milà i Canals (2013) regiões climáticas, Nuñez et al. (2010) ecorregiões e Nuñez et al (2013) grids de aproximadamente 10x10km<sup>2</sup>.

Foi identificado um número considerável de modelos de caracterização focados no serviço ecossistêmico de regulação, dentre eles o de Saad; Koellner; Margni (2013). Ressalta-se que este modelo é transparente e acessível, tem um amplo escopo de aplicação, abrangendo quatro relevantes indicadores. Apesar da limitação da baixa diferenciação de tipos de uso da terra – que pode comprometer os resultados da avaliação – é relevante destacar os fatores de caracterização regionalizados disponibilizados pelos autores representam grande avanço para inclusão desta categoria de impacto em estudos de caso brasileiros. Apesar de não fazer parte de um método de AICV este estudo foi desenvolvido a partir da ferramenta LANCA® e está relacionado ao projeto IMPACT World+ (<http://www.impactworldplus.org/>). Outro modelo que se destacou na análise é focado no Potencial de Produção Biótica publicado por Brandão & Milà i Canals (2013), avaliando serviços de provisão. Através de um modelo robusto, os autores abordam a capacidade de produção ou a capacidade do ecossistema para sustentar futura produção de biomassa, e disponibilizam fatores de caracterização regionalizados (regiões climáticas) que podem ser aplicados no Brasil. Comparado aos demais modelos analisados, Brandão & Milà i Canals (2013) atingiram um nível mais detalhado de diferenciação entre os tipos de uso da terra, sendo útil para praticantes da ACV no Brasil ao possibilitar a diferentes opções entre tipos de manejo. Pode-se citar como exemplo de estudos dedicados ao serviço ecossistêmico de suporte os publicados por Milà i Canals et al. (2007a,b). Apesar das limitações referentes à origem dos dados destes modelos e falta de fatores de caracterização, estes estudos são amplamente reconhecidos pela comunidade científica e por vezes vêm sendo usados como base teórica para novos estudos e / ou adaptações metodológicas.

Salienta-se que o próximo passo desta pesquisa, no âmbito da RAICV, consiste em utilizar os mesmos critérios aqui abordados para realizar uma análise quantitativa (adotando um procedimento de pontuação) e assim, fornecer recomendações consistentes sobre modelos adequados para aplicação em estudos de ACV conduzidos no Brasil.

No entanto, ainda são necessários esforços interdisciplinares para uma eficiente avaliação destes impactos bem como a construção de um consenso do tema em AICV. Assim como debatido por Othoniel et al. (2015), ressalta-se que até o momento os estudos existentes assumem um fornecimento constante dos serviços ecossistêmicos ao longo do tempo, não existindo uma abordagem que modele os impactos da provisão de serviços ecossistêmicos de maneira dinâmica.

## Considerações Finais

Este estudo avaliou 13 modelos de caracterização que modelam impactos sobre serviços ecossistêmicos devido ao uso da terra. Dentre estes modelos é possível observar que 7 são operacionais, com fatores de caracterização disponíveis para aplicação, enquanto 6 são modelos não operacionais configurando avanços teórico e conceituais sobre o tema.

Ao estudar as características e a modelagem dos impactos aos serviços ecossistêmicos, algumas limitações se destacaram como: a falta de integração entre os estudos e um consenso sobre como tais impactos devem ser abordados na ACV, a limitação do escopo de aplicação de muitos modelos e a baixa diferenciação entre tipos de uso da terra, que por sua vez pode subestimar impactos ambientais. Ademais, dentre aqueles estudos que disponibilizam fatores de caracterização para todo o globo, na maioria das vezes o Brasil é representado apenas por alguns poucos biomas, restando ainda uma lacuna para pesquisas direcionadas a melhor representar as diversidades ambientais do país.

O presente trabalho realizou uma análise qualitativa, focada em questões conceituais dos modelos de caracterização. Estudos futuros são direcionados a uma análise quantitativa (utilizando uma escala de pontuação



para os mesmos critérios) e posterior avaliação empírica, a fim de obter uma comparação prática de como diferentes abordagens se traduzem em diferentes resultados na avaliação de impacto, representando um importante passo no contexto da RAICV e na indicação de metodologias mais apropriadas para o contexto brasileiro.

## Agradecimentos

A autora Ana Laura Raymundo Pavan agradece a CAPES pelo apoio recebido para o desenvolvimento deste trabalho.

## Referências Bibliográficas

- ARBAULT, D. et al. (2014) Integrated earth system dynamic modeling for life cycle impact assessment of ecosystem services. *Science of the Total Environment*, v. 472, p. 262–272.
- BRANDÃO, M.; MILÀ I CANALS, L. (2013) Global characterisation factors to assess land use impacts on biotic production. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 18, n. 6, p. 1243-1252.
- BECK, T.; BOS, G. U.; WITTSTOCK, B.; BAITZ, M.; FISCHER, M.; SEDLBAUER, K. (2010) LANCA—land use indicator value calculation in life cycle assessment. Fraunhofer, Stuttgart.
- FREIRE, R. R. (2013) Integridade ambiental de corpos d' água: degradação ambiental, funções ecossistêmicas e perda de serviços ecossistêmicos no baixo São Francisco. 95p. Dissertação (Pós-Graduação em Meio Ambiente, Águas e Saneamento) Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- GARRIGUES, E. et al. (2013) Development of a soil compaction indicator in life cycle assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 18, n. 7, p. 1316–1324.
- KOELLNER, T.; GEYER, R. (2013) Global land use impact assessment on biodiversity and ecosystem services in LCA. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 18, n. 6, p. 1185-1187.
- MEA. Millennium ecosystem assessment. (2005) *Ecosystems and human well-being: current state and trends*. Island Press, Washington.
- MILÀ I CANALS, L.; BAUER, C.; DEPESTELE, J.; DUBREUIL, A.; KNUCHEL, R.F.; GAILLARD, G.; MICHELSEN, O.; MÜLLER-WENK, R.; RYDGREN, B. (2007a) Key elements in a framework for land use impact assessment within LCA. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 12, n. 1, p. 5-15.
- MILÀ I CANALS L.; ROMANYA, J.; COWELL, S. J. (2007b) Method for assessing impacts on life support functions (LSF) related to the use of 'fertile land' in Life Cycle Assessment (LCA). *J Clean Prod*, v.15, p.1426–1440.
- MÜLLER-WENK, R.; BRANDÃO, M. (2010) Climatic impact of land use in LCA—carbon transfers between vegetation soil and air. *Int J Life Cycle Assess* v. 15, p. 172–182.
- MUNOZ, I.; CAMBRA, P.; FERNANDEZ-ALBA, A. R. (2011) Including CO<sub>2</sub>-emission equivalence of changes in land surface albedo in life cycle assessment. Methodology and case study on greenhouse agriculture. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 15, n. 7, p. 672–681.
- NUNEZ, M. et al. (2010) Assessing potential desertification environmental impact in life cycle assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 15, n. 1, p. 67-78.
- NUNEZ, M. et al. (2013) Inclusion of soil erosion impacts in life cycle assessment on a global scale: application to energy crops in Spain. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 18, n. 4, p. 755–767.
- OBERHOLZER, H.-R. et al. (2012) A novel method for soil quality in life cycle assessment using several soil indicators. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 32, n. 3, p. 639–649.
- OTHONIEL, B.; RUGANI, B.; HEIJUNGS, R.; BENETTO, E.; WITHAGEN, C. Assessment of Life Cycle Impacts on Ecosystem Services: Promise, Problems, and Prospects. *Environ Sci Technol*, 2;50(3):1077-92, 2015.
- SAAD, R.; MARGNI, M.; KOELLNER, T.; WITTSTOCK, B.; DESCHÊNES, L. (2011) Assessment of land use impacts on soil ecological functions: development of spatially differentiated characterization factors within a Canadian context. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 16(3), 198-211.
- SAAD, R.; KOELLNER, T.; MARGNI, M. (2013) Land use impacts on freshwater regulation, erosion regulation, and water purification: a spatial approach for a global scale level. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 18, n. 6, p. 1253-1264.
- WAGENDORP, T. et al. (2006) Land use impact evaluation in life cycle assessment based on ecosystem thermodynamics. *Energy*, v. 31, n. 1 SPEC. ISS, p. 112–125.
- ZHANG, Y.; BARAL, A.; BAKSHI, B. (2010a) Accounting for ecosystem services in life cycle assessment, Part II: toward an ecologically based LCA. *Environ Sci Technol*, v.44, p. 2624–2631.
- ZHANG, Y.; SINGH, S.; BAKSHI, B. (2010b) Accounting for ecosystem services in life cycle assessment, Part I: a critical review. *Environ Sci Technol*, v. 44, p. 2232–2242.