

Técnica de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de produtos: Do surgimento à aplicação no setor florestal

Langer, M.¹; da Silva D. A.²; J. E. Arce² e S. H. Rocha³

De acordo com a *Food and Agriculture Organization of United Nations* - FAO (2009) e com Guinée (2016), o crescimento demográfico, a maior concentração da população em áreas urbanas e a maior expectativa de vida da população mundial demandarão mais recursos naturais e energia para a produção e consumo de bens, serviços e alimentos. E segundo FAO, entre 2005 e 2007, foram registrados impactos alarmantes sobre os espaços naturais e florestais, devido à urbanização e à produção mundial de alimentos, fibras e energia.

As escolhas individuais e coletivas para obtenção de matéria-prima, alimentos, energia; bem como, os problemas relacionados à depleção, à escassez de recursos naturais e ainda, à emissão de poluentes, causam impactos negativos à saúde humana, diminuem a biodiversidade, acarretam perda da qualidade de vida e prejudicam a sustentabilidade do planeta (UNITED NATIONS, 2014a; UNITED NATIONS, 2014b; LANGER, 2015; STRAKA; LEYTON, 2010). No setor florestal, o desmatamento florestal, as perdas de biodiversidade e da qualidade dos recursos naturais, o consumo de materiais de madeira sem origem comprovada, os impactos sociais decorrentes da concentração e da transformação de terras para monoculturas agrícolas ainda são problemas a serem tratados com maior atenção (FAO, 2016; UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAM – UNEP, 2015).

Esses problemas determinam a urgência de outras políticas públicas e outros modelos de produção para consolidar o paradigma da sustentabilidade; além de outras ferramentas de gestão e metodologias para reduzir os danos resultantes das ações antrópicas e da degradação do meio ambiente. Ainda, é necessário o

¹ Doutorando em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) marcelolanger@ufpr.br

² Orientador, Doutor em Engenharia Florestal, Professor do Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal da UFPR.

³ Orientadora, Doutora em Engenharia Florestal, Professora da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

desenvolvimento de padrões de consumo ambientalmente conscientes (THE INTERNATIONAL BANK FOR RECONSTRUCTION AND DEVELOPMENT – IBRD, 2012; LANGER, 2015). Uma das ferramentas utilizada para apoiar as políticas de sustentabilidade é a aplicação da técnica de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de Produtos, tanto para processos como para produtos – bens e serviços – (BRASIL, 2010; STRAKA; LAYTON, 2010).

Este capítulo tem como objetivo apresentar o surgimento da técnica ACV, possibilidades e ações necessárias para aplicação no setor florestal.

1. Surgimento e evolução da avaliação do ciclo de vida (acv)

Desde os anos 1960 e 1970, os estudos sobre os impactos ambientais relacionados a produtos de consumo vêm sendo desenvolvidos no sentido de estabelecer uma comparação para determinar se o produto A causa mais impacto do que o produto B. Esses procedimentos de comparação têm possibilitado o entendimento de que para a maioria dos produtos, os impactos ambientais acontecem não só no seu uso, mas também na sua produção, transporte e destinação final. Gradualmente, nos anos 1980 e 1990, a importância de identificar os locais corretos dos diferentes impactos ambientais vem sendo reconhecida como "ciclo de vida do produto", podendo se referir, inclusive, a diferentes produtos. Deste entendimento surgiu a técnica denominada "Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de Produtos" (GUINÉE *et al.*, 2011; CLAUDINO; TALAMINI, 2013).

A ACV é uma técnica de análise dos impactos ambientais de diversos produtos ou processos produtivos e vem sendo desenvolvida desde 1960 (KLEIN *et al.*, 2015; JENSEN *et al.*, 1997). A *Society of Environmental Toxicology and Chemistry – SETAC* (1993) informa que, a partir de 1960, a técnica de ACV já estava disponível, permitindo obter informações, construir uma avaliação sistêmica sobre os processos produtivos de diversos produtos, desde a origem da matéria-prima até o seu descarte final (UNEP, 2005).

A ACV teve rápido desenvolvimento ao longo das últimas três décadas, passando de mera análise energética dos limites ambientais nos anos 1970, para ACV de pleno direito e para modelos de ACV econômica (ACV-E) entre os anos de 1980 e 1990 (GUINÉE *et al.*, 2011).

Segundo Guinée *et al.* (2011), o período de 1970 a 1990 foi definido como as *Décadas da Concepção* da ACV. Em 1969, o *Midwest Research Institute* realizou um estudo solicitado pela Coca-Cola, para avaliar se as garrafas plásticas não eram ambientalmente piores que as garrafas de vidro (ROMÃO, 2016; GUINÉE *et al.*, 2011).

Segundo Barbosa Junior *et al.* (2008), os primeiros estudos sobre a ACV tiveram início tímido durante a primeira crise do petróleo, (1973), quando neste período foi percebida a necessidade de utilizar os recursos naturais de outras formas, muito em virtude da percepção de que esses recursos eram esgotáveis. Quando então, houve a intensificação da busca por fontes alternativas de energia e pelo aperfeiçoamento dos processos produtivos existentes, a fim de otimizar consumos de recursos naturais esgotáveis (GRUPO DE PESQUISA EM AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA - CICLOG, 2017). Por isso, para avaliar os processos produtivos e racionalizar o consumo energético surgiram estudos, que ficaram conhecidos como *Resource Environmental Profile Analysis* (REPA) (BARBOSA JUNIOR *et al.*, 2008; GUINÉE *et al.*, 2011).

A década de 1990 a 2000 foi definida como a *Década da Padronização* da ACV, com muitas atividades científicas desenvolvidas em várias partes do mundo, resultando na realização de um grande número de *workshops* e fóruns para discutir a ACV, levando ao surgimento de guias e manuais de aplicação da ACV. Em 1990, nos Estados Unidos da América, surgiu o termo *Life Cycle Assessment*, que tinha como objetivo auxiliar a tomada de decisão de empresas sobre a qualidade ambiental de produtos. A partir de 1990, a ACV começou a ser desenvolvida para atender as questões ambientais (BARBOSA JUNIOR *et al.*, 2008).

A partir dos anos 2000, a ACV apresentou os métodos para o desenvolvimento de ACV-S (Avaliação Social do Ciclo de Vida) e ACV consequencial. A década de 2000 a 2010 foi chamada de *Década da Elaboração*. Em 2002, a SETAC e a UNEP criaram o programa mundial *Life Cycle Initiative – LCI* (UNEP/SETAC).

Desde a sua criação o programa *Life Cycle Initiative* (LCI) busca intensificar esforços e desenvolver diversos trabalhos relacionados ao ciclo de vida de um produto, incluindo ações contínuas para melhorar a compreensão sobre os aspectos econômicos, sociais e ambientais inerentes à sustentabilidade (UNEP, 2005; UNEP, 2009; GUINÉE *et al.*, 2011). Desde o final de 2014, o LCI vem apoiando o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - PNUMA com o suporte técnico para a construção de bases de dados nacionais de ACV, (LCI, 2016).

De modo atuante e contínuo o programa *Life Cycle Initiative* (LCI) tem como principais objetivos: desenvolver e colocar em prática os princípios do *Life Cycle Thinking* (Pensamento em ciclo de vida¹) e dar suporte ao desenvolvimento de ações para melhorar a qualidade dos dados e dos indicadores da ACV. Nesse processo, o LCI desenvolveu atividades, reuniões, programas e ações que resultaram na elaboração de diversos documentos técnicos para auxílio da implantação da ACV nas empresas (GUINÉE *et al.*, 2011).

Em 2009, a UNEP/SETAC por meio do LCI elaborou o Guia a avaliação social do ciclo de vida de produto (ACV-S), que busca abordar as visões de transdisciplinaridade da ACV-S, ampliando suas aplicações para além dos

¹ Tradução livre dos autores.

domínios do produto e de seus sistemas de produção, ou seja, passou a abordar os diversos atores sociais além dos seus trabalhadores, como os consumidores, a sociedade, as comunidades locais e os *stakeholders* (GUINÉE *et al.*, 2011; UNEP 2009).

A atual década (2010 a 2020) está sendo definida como a *Década da Análise da Sustentabilidade do Ciclo de Vida*, sob o conceito expandido das três dimensões da sustentabilidade: Pessoas, Planeta e Prosperidade. Em 2011, foram lançados os princípios da ASCV (Avaliação¹ da Sustentabilidade do Ciclo de Vida) como modelo de base para a integração dos conceitos de transdisciplinaridade (GUINÉE *et al.*, 2011).

Segundo Guinée *et al.* (2011), a ACV será desenvolvida em muitas direções na próxima década, base de dados regionais serão desenvolvidas, novos métodos de avaliação de impacto serão desenhados e métodos para tratar da análise de incertezas serão melhorados; entretanto esta década estará voltada para a ASCV.

Zamagni (2012) em seu estudo sobre a evolução da ASCV identificou 600 artigos vinculados às palavras-chave “sustentabilidade” e “ACV”. Essa autora, considerou que essa identificação era um avanço bastante significativo, uma vez que se aproximava do número de publicações em ACV para o período de 1974 a 2010, pois, os trabalhos de ASCV publicados em 2010, foram três vezes maiores do que os publicados em 2007. Desses 600 artigos, 53% eram da área de ciências ambientais, 34% da engenharia, 16% sobre energia e 6,6% apresentaram contribuições para a ACV-S, sendo que essas classificações se sobrepõem. Esses resultados permitiram Zamagni concluir sobre a necessidade e importância de desenvolver a integração interdisciplinar da sustentabilidade.

A busca pela introdução dos aspectos da sustentabilidade dos produtos por meio da técnica de ACV, pode ser percebida pelos técnicos que o LCI vem fornecendo para revisão e validação por especialistas de conjuntos de dados da ACV para países emergentes, tais como Malásia, Brasil, Indonésia, em 2015, foram validados 40 conjuntos de dados pelo LCI, e esse suporte técnico tem se intensificado em diversos temas e foi chamado de “força tarefa”. Essa força tarefa tem como objetivo desenvolver um conjunto de critérios de revisão, por meio de um processo de análise, revisão e informação sobre cada conjunto de dados, incluindo aspectos legais com acordo de não divulgação e ação conjunta de especialistas de diferentes países (LCI, 2016).

¹ A partir deste período o termo Análise foi substituído pelo termo Avaliação, no emprego da técnica de ACV.

1.1. A normatização da ACV

A *International Organization for Standardization* (ISO) criou em 1994 o *Technical Committee on Environmental Management* (TC 207). Nesse mesmo ano, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) formou o Grupo de Apoio à Normalização Ambiental (GANA), com o objetivo de acompanhar e analisar os trabalhos desenvolvidos pelo TC 207 e, ainda, avaliar o impacto das normas ambientais internacionais nas organizações brasileiras. Em 1999, foi criado o Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental (CB38/ABNT) em substituição ao GANA, a fim de participar das discussões para as normas da série ISO 14000 e elaboração das normas brasileiras correspondentes (BRASIL, 2010).

Apesar do seu surgimento nas décadas de 1960 e 1970, somente a partir de 1997, com a normatização pela ISO, a ACV ganhou força (CHEHEBE, 1997). Para auxiliar o desenvolvimento da ACV, a ISO elaborou, em 2004, a norma ISO 14041:2004 que trata da “Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Definição de objetivo e escopo e análise de inventário” (ISO, 2004). Em 2009, a ABNT Normas Brasileira (NBR), substituiu a norma NBR ISO 14041:2004 pelas normas NBR ISO 14040:2006 e a 14044:2006 (ABNT, 2009a e 2009b), que estão em vigor até hoje e em permanentes atualizações.

A ISO e a ABNT apresentam por meio das normas TR 14049:2000 exemplos de aplicação sobre a etapa de definição de objetivos e escopo e análise de inventário (ISO, 2000). Por sua vez a TS 14048:2002 apresenta considerações sobre o formato de apresentação dos dados (ISO, 2002); e a TR 14047:2003 apresenta Exemplos de aplicação, especificamente sobre a etapa de avaliação do impacto (ISO, 2003). Essas normas serviram de base para a implantação das normas sobre a ACV.

A ACV é tratada pela ISO no âmbito da norma do TC 207/SC 5 - *Life Cycle Assessment*, que unificou aquelas normas na série ISO 14040:2006 “*Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework*” e ISO 14044:2006 “*Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines*” (BRASIL, 2010).

Este estudo aplicará as normas NBR 14.040 e 14.044 na sua elaboração, uma vez que essas Normas são reconhecidas, aceitas e utilizadas internacionalmente para atender às demandas crescentes em ACV dos diversos atores sociais: empresários, consumidores, governos e instituições.

1.2. A ACV no Brasil

Reconhecendo a importância da ACV para o Brasil, no ano de 2000, o Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental da Associação Brasileira de Normas Técnicas (CB38/ABNT) iniciou a tradução das normas da série NBR ISO 14040 para a língua portuguesa, e apoiou a criação da Associação Brasileira de Ciclo de Vida (ABCV) (BARBOSA JUNIOR *et al.*, 2008).

No Brasil, o Banco Nacional de Inventários em Ciclo de Vida, o Sistema de Inventário de Ciclo de Vida (SICV Brasil), é gerenciado pelo Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT), que também compõem o Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida (PBACV) (IBICT, 2017).

Segundo Zanghelini *et al.* (2014), os estudos de ACV no Brasil são recentes; somente depois de 2009 é que as publicações de ACV no Brasil tomaram força e se dividem em dois conjuntos: primeiro conjunto trata de estudos de caso onde a ACV é aplicada a produtos e serviços; o segundo conjunto trata de trabalhos que discutem e evoluem a metodologia de avaliação. Há um relativo equilíbrio entre pesquisas realizadas por instituições nacionais e pesquisas realizadas por instituições internacionais. No Brasil, destacam-se as Universidades de São Paulo, Federal de Santa Catarina e Brasília (ZANGHELINI *et al.*, 2014).

Apesar dos estudos de WILLERS *et al.* (2013) sobre o uso de ACV na engenharia de produção, até o momento não há estudos de ACV na engenharia de produção relacionados às ciências ambientais (ZANGHELINI *et al.*, 2014). Willers e Rodrigues (2013) elaboraram uma avaliação crítica sobre o estado da arte do desenvolvimento da ACV no Brasil.

Zanghelini *et al.* (2014) encontraram 51 publicações sobre ACV no Brasil, sendo que 35% foram sobre biocombustíveis, 30% sobre sistemas agropecuários e 15% sobre produção energética. Esse número de publicações e suas áreas de estudo, também pode ser identificada na evolução das publicações acadêmicas de artigos, pesquisada por Zanghelini *et al.* (2014) na base de dados SCOPUS, onde a ACV como palavra-chave apresentou um aumento de 64% nos últimos 5 anos no mundo e de 84% no Brasil durante o mesmo período.

Claudino e Talamini (2013) desenvolveram uma revisão literária sobre a aplicação da ACV no agronegócio. Para estes autores os sistemas de produção de alimentos requerem grandes entradas de recursos, têm fortes efeitos negativos sobre o meio ambiente, estão moldados para atender as demandas econômicas e o crescimento populacional. Destacaram, também, que apesar da ACV ser uma técnica bastante adequada para avaliar a biodiversidade, os impactos e os danos das atividades do agronegócio, há grande dificuldade para desenvolver estudos de ACV, no Brasil, devido à falta de dados e à complexidade da cadeia de produção de alimentos, pois, os estudos em ACV aplicados ao agronegócio alimentar são raros e as bases de dados necessitam ser refinadas. Claudino e Talamini chamaram a atenção para a necessidade de melhoria das metodologias de ACV para a realidade brasileira.

O Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (CONMETRO) aprovou o PBACV que estabelece diretrizes no âmbito para o Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (SINMETRO), a fim de dar continuidade às ações da ACV no Brasil, tornando-o instrumento para o desenvolvimento sustentável, competitividade ambiental da produção industrial brasileira, promoção do acesso aos mercados interno e externo de produtos mais sustentáveis (BRASIL, 2010).

De acordo com BRASIL (2010), o PBACV pretende:

- (a) implantar no País um sistema reconhecido em âmbito internacional, capaz de organizar, armazenar e disseminar informações padronizadas sobre inventários do Ciclo de Vida da produção industrial brasileira;
- (b) disponibilizar e disseminar a metodologia de elaboração de inventários brasileiros;
- (c) elaborar os inventários base da indústria brasileira;
- (d) apoiar o desenvolvimento de massa crítica em ACV;
- (e) disseminar e apoiar mecanismos de disseminação de informações sobre o pensamento do ciclo de vida;
- (f) intervir e influenciar nos trabalhos de normalização internacional e nacional afetos ao tema;
- (g) identificar as principais categorias de impactos ambientais para o Brasil.

O PBACV deve ter alinhamento estratégico às políticas públicas nacionais, ambientais e de sustentabilidade. Por exemplo, com o Plano Nacional de Consumo Sustentável e a Política Nacional de Resíduos Sólidos, para que haja soma de esforços para suas implantações e vigências (BRASIL, 2010).

Embora haja uma crescente aplicação da ACV nas atividades industriais brasileiras, observa-se uma lacuna no desenvolvimento de métodos de Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida (AICV) baseados nas características regionais brasileiras e sul-americanas (MENDES; BUENO; OMETTO, 2013).

1.2.1. ACV aplicada à produção florestal

Para o desenvolvimento de uma ACV florestal, primeiramente é preciso entender a função de uma floresta ou dos produtos florestais. Tanto o ambiente de uma floresta como os seus recursos madeireiros e não-madeireiros podem ser considerados produtos. Portanto, a função de uma floresta pode ser definida por sua composição total, valor cênico, valor ambiental, valor social, paisagem, bem-estar humano, conservação de recursos naturais, dentre outros; ou por um produto específico, tais como madeira, fruto, resina, geração de empregos,

turismo, impostos, receitas econômicas, contribuição para o desenvolvimento local ou regional. Neste sentido, a totalidade das florestas apresentam multi funções, ou multi produtos.

Essas diferentes funções podem ter valores econômicos, sociais e ambientais, comumente chamados de "produto florestal"; por exemplo, madeira, biodiversidade, conservação da água, do solo e do ar, clima local e mundial, efeito sobre a temperatura e outros benefícios de uma floresta nativa ou plantada, que variam de acordo com cada caso. Em uma ACV, esses benefícios são definidos como "função do produto" e o "produto" será aquele que terá o seu ciclo de vida considerado.

Reconhecendo a importância das diferentes funções florestais e seus benefícios e impactos sobre a conservação ambiental, desenvolvimento social e econômico, a partir do início de 1990, organizações mundiais passaram a promover o desenvolvimento de programas de certificação florestal, ferramentas de apoio à gestão, para garantir melhor qualidade ambiental e social da floresta e seus produtos; conservação dos seus recursos, redução de desmatamentos e seus impactos sobre a biosfera (Conselho de Manejo Florestal - FSC, 2014).

Os programas de certificação florestal vêm sendo implementados em mais de 150 países por diferentes organizações, certificadores, representantes governamentais e outros atores envolvidos no processo (FSC, 2014). Os métodos e ferramentas desses programas de certificação avaliam sistemas produtivos por meio de critérios e indicadores, análises de custo-benefício, qualificação de sistemas baseados no conhecimento, avaliação de impacto ambiental, podendo compará-los aos princípios da técnica de avaliação do ciclo de vida (HOLVOET; MUYS, 2004).

Semelhante ao consumo de diversos tipos de materiais, o uso de produtos de origem florestal e madeireira, em diversos setores industriais e na construção civil, causam fortes impactos ambientais (PUEITMANN; WILSON, 2005) e devem ser avaliados e monitorados para garantir um manejo florestal adequado aos princípios da responsabilidade social e ambiental e perpetuação dos recursos e atividades empresariais.

Embora os critérios e os indicadores sejam o método popular para avaliar a sustentabilidade da floresta e dos seus produtos, a ACV é uma técnica que serve aos propósitos da sustentabilidade florestal. Porém, está focada no produto e busca avaliar todo o seu sistema de produto (STRAKA; LAYTON, 2010).

Apesar da aplicação da ACV para a mensuração dos impactos ambientais estar crescendo nos setores florestal e madeireiro mundiais, seu ritmo ainda é lento e descompassado, em relação à aplicação da ACV em outros setores produtivos, tais como energético, agrícola, automotivo, elétrico. Os trabalhos de ACV no setor florestal ainda são poucos, apresentam poucos dados e poucos bancos de dados disponíveis (ZANGHELINI *et al.*, 2014). Os trabalhos em ACV florestal

não abrangem toda a diversidade de funções florestais mundiais (BARRANTES *et al.*, 2016).

Klein *et al.* (2015), em seu levantamento sobre o estado da arte da ACV na produção florestal, concluíram que apesar da técnica de ACV estar sendo conduzida em diferentes atividades de produção florestal desde o início de 1990, o setor ainda apresenta grandes lacunas no desenvolvimento de estudos consistentes para a construção de bancos de dados e relatórios para a compreensão da ACV. Para Klein *et al.* (2015), os principais desafios para a elaboração de estudos em ACV florestal estão na identificação e definição de objetivos, sistema de fronteiras dos estudos, desenho do fluxo correto do produto, suas funções, unidades funcionais, categorias de impacto e processos envolvidos. Klein *et al.* observaram que a maioria dos trabalhos está direcionada para a análise do potencial de aquecimento global¹ (GWP) e os resultados ainda apresentam incertezas.

Straka e Layton (2010), analisaram, a relação entre a ACV, as certificações florestais, e os produtos florestais e madeireiros, identificando poucos trabalhos em ACV de produtos madeireiros e a maioria deles foi aplicada à construção civil, celulose e papel. Relatam que em 1970, a *National Research Council, Committee on Renewable Resources for Industrial Materials* (CORRIM) elaborou o primeiro inventário em ciclo de vida sobre a demanda energética para produção de produtos madeireiros empregados na construção civil. Straka e Layton concluíram que poucos consumidores interagem diretamente com a floresta, mas a maioria interage com os produtos das indústrias de transformação florestal. Assim, ressaltaram, a importância da qualidade da avaliação do ciclo de vida do produto e a comunicação dos seus resultados ao consumidor, normalmente por meio de uma certificação ou da rotulagem ambiental.

Klein *et al.* (2015) questionam a definição de que produtos florestais são "produtos carbono zero", pois as metodologias de abordagem e os métodos empregados para determinar o GWP, ainda apresentam elevada incerteza e inconsistência entre os diversos resultados analisados. Esses autores ainda propõem que os estudos futuros da ACV no setor florestal devam focar na harmonização das fronteiras dos sistemas de produtos, com definição mais precisa das funções da floresta, dos seus produtos, das unidades funcionais, dos processos considerados e da alocação das premissas dos estudos de da ACV.

Os estudos futuros em ACV poderão auxiliar na especificação das descrições precisas dos processos e produtos florestais, harmonizando-os às Regras de Categorias de Produtos para atender a comunicação e as Declarações Ambientais de Produtos (rotulagem ambiental), segundo a EN ISO 16485:2014 ou EN ISO 15804:2012), por exemplo. Também, contribuirão para o atendimento à norma EN ISO 14025:2011 e aos padrões de pegada de carbono como a Especificação

¹ Tradução em português para o termo inglês *Global Warming Potential (GWP)*

Disponível para Publicização – PAS (2050:2011) ou à Iniciativa Europeia para Pegada Ambiental (KLEIN *et al.*, 2015).

Straka e Layton (2010), considerando as possibilidades de alinhamento dos programas de certificação florestal aos princípios da AVC, observaram que apesar dos sistemas de certificação florestal estarem baseados em um único problema, a qualidade do gerenciamento florestal, isso não significa que eles não podem integrar um sistema de rotulagem ecológica de múltiplas questões (ou múltiplas funções). Se o sistema de rotulagem ecológica abordar produtos florestais, a certificação florestal pode ser necessária, tornando-a parte do processo de rotulagem ecológica (STRAKA; LAYTON, 2010; KLEIN *et al.*, 2015).

Os sistemas de certificação florestal tornam-se adições cruciais para uma ACV, uma vez que avaliam uma parte importante dos aspectos legais, ambientais, sociais e econômicos do produto florestal, contribuindo para a rotulagem ambiental. Esses sistemas de certificação florestal podem complementar a ACV, mas qualquer produto florestal submetido à ACV precisará abordar a sustentabilidade da floresta como um componente ou complemento da análise (STRAKA; LAYTON, 2010).

A ACV é baseada em produtos ou processos produtivos e em termos de produtos florestais, a maioria dos produtos florestais finais, por exemplo: toras, papel, madeira processada, conservação da biodiversidade, valor cênico, sequestro de carbono, incluem o manejo florestal como apenas parte do seu ciclo de vida, não considerando toda a cadeia produtiva e de valor do produto final. A sustentabilidade florestal tem uma base biológica com insumos de entradas e saídas que podem ser incorporados na ACV. O estudo de ACV para produtos de base florestal, normalmente estabelece comparações entre produtos de origem madeireira e outras origens, por exemplo, sacola de papel *versus* sacola de plástico, toalhas de pano *versus* toalhas de papel, estrutura de madeira *versus* estrutura de aço ou de cimento, energia de biomassa florestal *versus* biomassa agrícola, entre outros (STRAKA; LAYTON, 2010).

1.2.2. ACV florestal no Brasil

Este tópico apresenta exemplos de alguns estudos de ACV envolvendo florestas ou produtos florestais no Brasil e tem como objetivo mostrar a variedade de temas, abordagens, metodologias e avanços técnicos.

Gonzaga (2005), em seu estudo sobre marketing verde de produtos florestais, por meio da ACV, pode medir os méritos ambientais de produtos e processos segundo a poluição do ar, toxidade ecológica, depleção de combustível fóssil, alteração de habitats, saúde humana, qualidade do ar no interior de residências e

locais de trabalho, depleção da camada de ozônio, consumo de água, dentre outros.

Rodrigues (2013) estudou o potencial de produção de bioóleo a partir da serragem de madeira, considerando que a ACV é uma metodologia indicada para a análise de potencial de uso desse produto, pois apresenta abordagem sistêmica para a quantificação dos impactos ambientais associados a todas as fases da vida do bioóleo a partir da madeira.

Piekarski (2015) desenvolveu um modelo multicritério para apoio à tomada de decisão, baseado na ACV e em indicadores corporativos, utilizando a produção de MDF no estado do Paraná. Considerou a aplicação do modelo construído a outras empresas e outros produtos; a necessidade de incorporação de métodos específicos para determinação das taxas de substituição no seu modelo; a realização de análises de sensibilidade e interpretou resultados pelo uso de outros métodos de Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida (AICV) no método multicritério. Considerou a construção de outros inventários de ciclo de vida que representem as características brasileiras das matérias-primas do painel de madeira MDF.

Costa (2015) avaliou a eficiência agrícola e da produção de gado, sob os aspectos sociais, ambientais e econômicos no cerrado brasileiro, por meio da abordagem da ACV. Assim como Costa, estudos de ACV florestal no Brasil são direcionados à construção de inventários, levantamento de dados, construção de bases de dados, avaliação dos impactos ambientais dos processos e produtos específicos.

Barrantes *et al.* (2016) analisou as diversas vantagens do uso da biomassa florestal para a geração de energia, já que o Brasil apresentava condições edafoclimáticas favoráveis à produção de madeira para esse fim e possuía forte histórico de contribuição para a matriz energética nacional. Barrantes *et al.* utilizaram a técnica de ACV para avaliar o desempenho ambiental de florestas de eucalipto na produção de biomassa energética e, por meio do método CML¹ para a AICV, foi possível identificar que as atividades de operações de corte e extração da madeira, as quais compõem a etapa de colheita, juntamente com o carregamento, são as mais impactantes nessa cadeia produtiva de geração de bioenergia. Entretanto, esses autores chamam atenção para a necessidade de desenvolvimento de bases de dados em ACV para a realidade brasileira.

A exemplo de outros estudos em ACV voltados para construção de base de dados, Langer *et al.* (2016) estudaram a produção de palma para a realidade brasileira, comparando-a ao conjunto de dados da Malásia e da Colômbia e apresentando resultados de emissões para os aspectos de cultivo desta espécie nas regiões consideradas. Entretanto, eles relatam que há limitações em relação aos dados utilizados para a região brasileira em estudo, sugerindo que novas pesquisas devam considerar a obtenção de dados de adubação, quantificação das emissões de transporte e melhor descrição das características edáficas dos solos brasileiros.

¹ CML – (CML, 2002) é um método para avaliação de impactos do produto na AICV.

Bailis *et al.* (2012) compararam os impactos ambientais dos diferentes métodos tecnológicos para a produção de carvão vegetal no Brasil em fornos do tipo rabo quente e containers metálicos. Bailis *et al.* estabeleceram a produção de mudas como sendo o ponto inicial da fronteira do sistema de produto a ser avaliado na ACV e a pirólise da madeira para produção de carvão vegetal como sendo o seu ponto final. Consideraram como entradas o consumo de madeira, combustíveis, água, eletricidade, fertilizantes químicos e materiais para construção dos fornos. Como saídas dos processos de produção, nesse sistema de produto, foram considerados o carvão produzido, a cogeração energética e as emissões para os compartimentos ar e água. Concluíram que a tecnologia de fornos em containers metálicos apresentava redução nos impactos ambientais, porém, os processos de produção de madeira em florestas energéticas de eucalipto requerem estudos mais aprofundados sobre os impactos e benefícios desse sistema produtivo de madeira para biomassa energética.

A ACV ainda tem fraquezas referentes às questões de sustentabilidade florestal, pois os dados descritivos não estão disponíveis para quantificar ecossistemas florestais usando a abordagem da técnica de ACV. A diversidade biológica, por exemplo, é um conceito bastante qualitativo e os fatores sociais e econômicos associados à sustentabilidade da floresta podem ser de difícil quantificação. Contudo, a ACV é especialmente bem adaptada para comparar um recurso renovável ou produto oriundo dos recursos renováveis da floresta (coprodutos madeireiros para uso direto ou secundário como geração de energia renovável, e não-madeireiros, que geram alimentos, biodiversidade, serviços ambientais, entre outros) aos recursos não renováveis, como derivados de petróleo (STRAKA; LAYTON, 2010).

O PBACV em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Grupo ACV Brasil, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), *Ecoinvent*, IBICT, Associação Brasileira de Ciclo de Vida (ABCV) e outras empresas privadas e governos, vêm desenvolvendo reuniões, eventos técnicos e científicos para promover a ACV no Brasil, incluindo ações para intensificar a realização de ACV de produção florestal e, assim, melhorar a qualidade dos dados e dos resultados das ACV para a realidade brasileira.

1.3. Abrangência da ACV

Em relação à geografia do produto, a abrangência de um estudo de ACV pode ser regional, nacional ou global, com dados que representam uma realidade local ou podem ser aplicados em todo o globo. A identificação da abrangência é de extrema importância, pois reflete a base tecnológica de um sistema de produto, as características regionais de um processo produtivo e todos seus fatores

envolvidos. Como a ACV considera as diversas fases de desenvolvimento e uso de um produto, desde a extração até o descarte final, muitas vezes é necessário considerar uma abordagem global, uma vez que um produto pode ser produzido em um país e ser consumido e descartado em outro país

Uma avaliação do ciclo de vida enfoca os aspectos ambientais e os impactos ambientais potenciais ao longo de todo o ciclo de vida de um produto, desde a aquisição da matéria-prima até a disposição final; por exemplo, na cadeia produtiva florestal, a função “uso de madeira para produção de energia renovável” apresenta consequências para a conservação dos recursos naturais, emissões gasosas para o meio ambiente atmosférico, decorrentes de sua queima e que, em alguma escala e intensidade, poderão causar benefícios ou danos para a saúde humana, o meio ambiente e as reservas econômicas de um país – aspectos da sustentabilidade de produtos (ABNT 2004, 2009a, 2009b).

A ACV é uma ferramenta analítica usada para quantificar de forma abrangente (dentro dos limites dos dados disponíveis) e interpretar os fluxos “de e para” o meio ambiente. Ela inclui as emissões para os compartimentos ar, solo e água; categorias de impacto como toxicidade ecológica e humana; depleção da energia e outros recursos. Ela pode considerar o sistema do produto em todo o seu ciclo de vida ou processo, comumente referido como “do berço ao túmulo” (CLAUDINO; TALAMINO, 2013) ou do “berço ao berço” (UNEP, 2015).

Os estudos de ACV podem considerar produção e extração de matérias-primas, fabricação de produtos intermediários, transporte nas suas diversas etapas, distribuição, uso e estágio final de “fim de vida”, que geralmente inclui múltiplos caminhos paralelos, como reciclagem, incineração ou aterro sanitário (PUETTSMANN; WILSON, 2005). Para Sablowski (2008) a ACV do produto compreende, geralmente, aspectos diversos, como extração do recurso, manufatura dos materiais, energia consumida, transporte e tratamento dos resíduos, Figura 1.



Figura 1. Demonstração do ciclo de vida de uma porta de madeira desde a origem (floresta) até o descarte final após uso (reuso da porta). Fonte: Os autores¹, 2017.

¹ Arte desenvolvida por Arnaldo Gonçalves Júnior, 2017.

O desenvolvimento de uma ACV requer análises dos insumos e emissões envolvidos no sistema de produto, abordando todas as categorias de impactos ambientais, e pode ter uma grande variedade de propósitos (funções e objetivos), pois é um instrumento de apoio à gestão dos aspectos ambientais, em todas as fases do sistema de produção do produto. Essas análises estão relacionadas às etapas do processo, desde a extração de matéria-prima até a disposição final do produto (CHEHEBE, 1997).

Atualmente o conceito “do berço ao túmulo” vem sendo substituído pelo conceito “do berço ao berço”, uma vez que por meio do reuso, reciclagem e reaproveitamento da energia embutida nas embalagens e produtos, considera-se que produtos podem ter um ciclo de vida circular, sem apresentar um ponto final, ou descarte final, específico (UNEP, 2015).

O conceito de "berço ao túmulo" em uma ACV aplica-se a todas as suas etapas¹ de produção e processamento de um produto, e pode ser resumida pelas seguintes etapas: aquisição de materiais; industrialização; uso; e, descarte final (UGAYA, 2013).

De modo geral, numa ACV, a etapa "aquisição de materiais" contempla todos os processos necessários para a obtenção de matérias-primas, insumos, transporte e energia a serem consumidos ou empregados no processo produtivo do produto. Já a etapa "industrialização" abrange todos os processos de transformação até o produto a ser comercializado, podendo considerar também os fluxos de processos elementares de coprodutos, transporte até o consumidor e destinações de materiais excedentes dos processos. Por sua vez, a etapa "uso" refere-se aos pontos de comercialização e locais de consumo ou uso dos produtos. Por fim, a etapa "descarte final" considera os destinos das embalagens e produtos pós consumo, podendo abranger reuso, reciclagem, recuperação de energia e até a destinação final. Os processos de transporte, ou distribuição, podem ser incluídos em cada uma das etapas de produção e processamento de um produto, uma vez que está presente em todas as etapas, em maior ou menor intensidade. Entretanto, alguns autores preferem estabelecer a distribuição como uma etapa distinta e considerar as atividades de transporte em todas as etapas do ciclo de vida do produto.

A abrangência da ACV é determinada na etapa "aquisição de materiais" quando se define o seu escopo e não há na literatura limitação ao seu uso, uma vez que ela permite ajustes à função, às características individuais de cada produto, processo, disponibilidade de dados, robustez, transparência, completeza dos dados, informações a serem utilizadas, significância do processo elementar, entradas e saídas consideradas, experiência do seu autor e principalmente confiabilidade do dado utilizado. Atualmente, os esforços mundiais para o desenvolvimento da ACV estão considerando as dimensões sociais, ambientais, econômicas, tecnológicas e geográficas, a fim de melhorar a aplicação dos seus

¹ Os termos etapas e fases são empregados indistintamente em ACV.

resultados e contribuir para o conhecimento completo em sustentabilidade de um produto ou processo (UNEP, 2007; 2009; 2011; SCHLÖR; HAKE, 2015).

Em uma Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida do Produto (ASCV) é possível avaliar os impactos ambientais de produtos e processos, de acordo com algumas categorias de impacto, por exemplo, mudanças climáticas, depleção de recursos, uso da terra, uso da água, efeitos toxicológicos sobre o ser humano, depleção da camada de ozônio, criação do ozônio fotoquímico, efeitos ecotoxicológicos, eutrofização e acidificação sobre a biodiversidade (UNEP, 2011).

Para os aspectos sociais, a Avaliação Social do Ciclo de Vida (ACV-S) identificou e definiu 31 categorias de impacto (CI) agrupadas em cinco grupos sociais: trabalhadores, consumidores, comunidade local, sociedade e atores da cadeia de valor (*stakeholders*). Para os aspectos econômicos, a Avaliação Econômica do Ciclo de Vida (ACV-E) considera os custos de obtenção, produção, uso, descarte dos produtos, os valores macro e microeconômicos; tanto os diretamente envolvidos na produção do produto e receitas geradas, como nos benefícios indiretos a todo local e região onde apresentam impactos (UNEP, 2009).

A UNEP/SETAC por meio do Programa LCI tem intensificado suas ações para esclarecer e estabelecer as diferenças metodológicas entre ACV, ACV-S, ASCV, ACV-E¹, a fim de melhorar sua compreensão, aplicação e qualidade dos resultados. De acordo com Barbosa Junior *et al.* (2008), a ACV é uma ferramenta gerencial ambiental voltada para o produto, e para que ela evolua no Brasil é preciso haver maior experiência em sua aplicação, padronização da metodologia e incentivos governamentais, podendo apresentar melhorias na gestão estratégica ambiental das empresas e ganhos de produtividade do sistema de produto.

2. Metodologia para elaboração de uma ACV

Existem vários modos de conduzir um estudo de ACV, devido, principalmente, à complexidade dos sistemas de produtos e às diferentes condições e características ambientais existentes em cada região (BARBOSA JUNIOR *et al.*, 2008). Entretanto, a descrição de uma ACV deve atender a todos os seus princípios, contendo descrição geral do objeto de estudo, perspectivas de ciclo de vida, foco ambiental, abordagem relativa à função, unidade funcional, fluxo de referência, abordagem iterativa, transparência, completeza e prioridade da abordagem científica (ABNT, 2009a).

¹ Tradução dos autores. ACV-E é o acrônimo mais empregado no Brasil para Avaliação Econômica do Ciclo de Vida de Produto, embora seu acrônimo de origem no idioma inglês seja: LCC – *Life Cycle Costs* – e refira-se à avaliação dos custos dos produtos e processos produtivos. Atualmente, emprega-se o termo "econômico" em substituição ao termo "custo".

De acordo com as normas ISO 14040 e 14044, uma ACV deve cumprir quatro fases obrigatórias. A primeira fase consiste na definição do objetivo e escopo do trabalho (que definirá a abrangência da ACV); a segunda, na análise de inventário do ciclo de vida (ICV); a terceira, na avaliação de impactos do ciclo de vida (AICV); a quarta, na interpretação dos resultados da avaliação do ciclo de vida. Ainda, há uma quinta fase, não obrigatória, que consiste na comunicação dos resultados da ACV (ABNT, 2009a). Essas fases estão representadas na figura 2, adiante.

As quatro fases obrigatórias da ACV têm propósitos específicos. Na fase 1, o estudo de ACV deve estabelecer claramente o objetivo da aplicação da ACV, e fornecer o escopo do estudo, o qual deve contemplar a definição da função do produto florestal, sua unidade funcional e o fluxo de referência, os quais definirão a fronteira do sistema de produto e todos os detalhes do processo em análise. A fase 2 (ICV) deve envolver a coleta de dados para o cumprimento do objetivo do estudo, quando deve ser elaborado o inventário dos dados de entrada e saída de cada um dos fluxos e processos elementares da ACV. Na fase 3 (AICV) deve prover as informações adicionais para auxiliar na avaliação e no melhor entendimento da significância ambiental dos resultados do ICV. Na fase 4, os resultados devem ser sumarizados e discutidos com base para conclusões, recomendações e tomada de decisão de acordo com o objetivo e o escopo da ACV (ABNT, 2009a, 2009b). A fase 5 deve definir como e para quem os resultados da ACV serão comunicados.

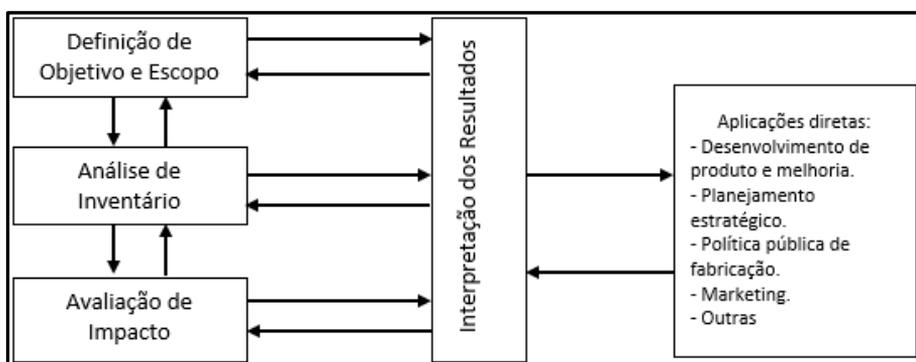


Figura 2. Fases obrigatórias de desenvolvimento de uma Avaliação do Ciclo de Vida de um Produto. Adaptado de ABNT NBR (2009b).

Além dessas fases obrigatórias, uma ACV deve conter outras informações fundamentais à qualidade dos relatórios gerados e sua revisão crítica (ABNT NBR, 2009a), como a determinação das relações entre as suas fases, condições para o uso das escolhas de valor e elementos opcionais. O estudo de uma ACV pode apresentar normalização dos dados, agrupamento, ponderações, análise da qualidade dos dados por meio das análises de contribuição, incerteza e

sensibilidade, e utilizar seus resultados para compará-los à outras ACV divulgadas publicamente (ABNT NBR, 2009b).

3. Considerações finais

Apesar dos primeiros estudos de ACV terem surgido na década de 1960, e em 1993 a SETAC ter contribuído muito para o seu desenvolvimento, somente a partir de 2002 com a criação do *Life Cycle Initiative* que a ACV ganhou força e aplicação mundial.

Por meio deste breve estudo da evolução da ACV no mundo e no Brasil, sua aplicação aos produtos florestais para a realidade global e a nacional brasileira, foi possível observar que apesar da ACV ser uma técnica para avaliação dos impactos ambientais, sociais e econômicos de processos de produtos, ela tem recebido atenção nas mais diversas áreas de ação antrópica, tanto as produtivas, como as acadêmicas e governamentais mundiais, pois tem se tornado uma ferramenta de alta qualidade para a gestão de produtos, processos e serviços, tanto no setores públicos e como nos privados.

Os esforços mundiais para o desenvolvimento da ACV, por meio de iniciativas conjuntas envolvendo representantes de diferentes realidades mundiais, estão promovendo a sua aceitação, ampliando as possibilidades de uso e aplicação, aprofundando conhecimentos e compreensões sobre os benefícios da avaliação do ciclo de vida de um produto, seus aspectos produtivos, impactos ambientais, sociais e econômicos, gerando dados regionais e nacionais, banco de dados específicos, melhorando a precisão dos seus resultados, auxiliando na tomada de decisões mais assertivas para a qualidade produtiva e contribuindo para a redução das incertezas dos consumidores no momento da escolha de um produto a ser consumido.

No setor florestal, a ACV ainda apresenta grandes lacunas sobre os conhecimentos do ciclo de vida dos produtos florestais. Há poucos estudos para o desenvolvimento de dados precisos das cadeias produtivas, das cadeias de valor do produto florestal e madeireiro, aplicáveis ao estudo do ciclo de vida de produtos florestais madeireiros e não-madeireiros específicos para cada realidade regional, nacional ou ainda global.

Especificamente, no Brasil, apesar das diversas iniciativas e ações desenvolvidas para o desenvolvimento da ACV, os resultados são poucos e com grandes incertezas, pois as metodologias empregadas foram desenvolvidas em outros países e os dados nacionais para as atividades brasileiras são restritos.

Como recomendações, é necessário adotar outras políticas públicas para o desenvolvimento da ACV nas universidades, centros de pesquisas, empresas e governo, já que a demanda por rotulagem ambiental é uma realidade mundial, mas

há carência de profissionais aptos ao desenvolvimento da ACV nos diversos setores econômicos, incluindo o setor florestal.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. ABNT/NBR ISO 14041:2004. Gestão ambiental. Avaliação do ciclo de vida – Definição de objetivo e escopo e análise de inventário. 25 pag. 2004
- _____. ISO 14040:2009. Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida. Princípios e estrutura. 21 pag. 2009 (a).
- _____. ISO 14044:2009. Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida. Requisitos e orientações. 21p. 2009(b).
- BAILIS, R.; RUJANAVECH, C.; DWIVEDI, P.; VILELA, A. O.; CHANG, H.; MIRANDA, R. C. Innovation in charcoal production: a comparative life-cycle assessment of two kiln technologies in Brazil. *Energy for sustainable development*. v.17. n.2 p. 189-200. 2013.
- BARBOSA JUNIOR, A. F.; MORAIS, R. M.; EMERENCIANO, S. V.; PIMENTE, H. C. D.; GOUVINHAS, R. P.; Conceitos e aplicações de análise do ciclo vida (ACV) no Brasil. *Revista Ibero Americana de Estratégia*. Gerenciais. São Paulo. v. 7. n. 1. Universidade Nove de Julho. São Paulo, Brasil. p. 39-44. 2008.
- BARRANTES, L. S.; FOLEGATTI-MATSUURA, M. I. S.; MOREIRA, J. M. M. A. P.; UGAYA, C. M. L. Avaliação do ciclo de vida da madeira de eucalipto para produção de energia no Brasil. V Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida – I CBGCV. Fortaleza. CE. Set. 2016.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Conselho Nacional de Metrologia. Normalização e qualidade industrial. Dispõe sobre a aprovação do programa brasileiro de avaliação do ciclo de vida e dá outras providências (Resolução nº4, de 15 de dezembro de 2010). Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/resc/pdf/RES_C000236.pdf>. Acesso em 20/08/2017.
- CHEHEBE, J. R. B. Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000, Rio de Janeiro: Qualitymark. 1997. 104 p.
- CLAUDINO, E. S.; TALAMINI, E. Análise de ciclo de vida (ACV) aplicada ao agronegócio – uma revisão de literatura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.17. n.1. p. 77-85. 2013.
- COSTA, M. P. Socio-eco-efficiency of integrated and non-integrated systems of crop, forestry and livestock in the Ipameri city, at brazilian Cerrado. Marcela Porto Costa, 2015. 166 f.: il. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Campus de Sorocaba, Sorocaba, 2015.
- CONSELHO DE MANEJO FLORESTAL/ FOREST STEWARDSHIP COUNCIL – FSC. Padrão FSC. Avaliação de plantações florestais na República Federativa do Brasil: Padrão harmonizado entre as certificadoras FSC-STD-BRA-01-2014 V1-1 PT. Versão 1-1. 2014.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. State of the World's Forests 2016. Forest and Agriculture: land-use challenges and opportunities. Rome. FAO. 2016.

- How to feed the world in 2050. 2009. Disponível em: <http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf>. Acesso em 10/08/2017.
- GONZAGA, C. A. M. Marketing verde de produtos florestais: teoria e prática. FLORESTA, Curitiba, PR, v. 35, n.2, mai./ago. p. 353-368. 2005.
- GRUPO DE PESQUISA EM AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA – CICLOG. Histórico da ACV. Disponível em: <<http://www.ciclodevida.ufsc.br/acv.php>>. Acesso em 24/08/2017.
- GUINÉE, J. B.; HEIJUNGS, R.; HUPPES, G.; ZAMAGNI, A.; MASONI, P.; MASONI, P.; BUONAMICI, R.; EKVAL, T.; RYDBERG, T. Life cycle assessment: past, present, and future, environmental science and technology. Environment Science Technology. v.45. n.1. p. 90–96. 2011.
- GUINÉE, J. B. Life cycle sustainability assessment: what is it and what are its challenges? Taking Stock of Industrial Ecology. p. 45-68. 2016.
- HOLVOET, B.; MUYS, B. Sustainable forest management worldwide: a comparative assessment of standards. International Forestry Review. v.6. p. 99-122. 2004.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA – IBICT. Avaliação do ciclo de vida. Disponível em: <acv.ibict.br>. Acesso em 10/08/2017.
- JENSEN, A. A.; HOFFMAN, L.; MØLLER, B.; SCHMIDT, A. Life cycle assessment. A guide to approaches, experiences and information sources. Environmental Issues Series 6, European Environmental Agency. 1997. 119p.
- KLEIN, D.; WOLF, C.; SCHULZ, C.; WEBWE-BLASCHKE, G. 20 years of life cycle assessment (LCA) in the forestry sector: state of the art and a methodical proposal for the LCA of forest production. Wood and Other Renewable Resources. International Journal Life Cycle Assessment. v.20. p. 556–575. 2015.
- LANGER, M. Uso de agregados reciclados da construção e demolição na pavimentação de estradas rurais – um modelo de gestão integrada. Marcelo Langer, 2015. 164f. f.: il. Monografia de Especialização. Departamento Acadêmico de Construção Civil. Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campus Curitiba. Curitiba. 2015.
- LANGER, M.; JUNIOR, A. C.; AMARAL, K. G. C.; ALMEIDA, S. T.; OLIVEIRA, J. M.; CARRARO, N. L.; RAMIREZ, P. K. S.; UGAYA, C. M. L. Conjuntos de dados da produção de palma para a realidade Brasileira. In.: V Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida - VCBGCV. Fortaleza. CE. Set. 2016.
- LIFE CYCLE INITIATIVE – LCI. Review of 40 LCA datasets from Malaysia, Brazil and Thailand completed. 2016. Disponível em: <<http://www.lifecycleinitiative.org/dataset-review-malaysia-brazil-thailand/>>. Acesso em 19/08/2017.
- MENDES, N. C.; BUENO, C.; OMETTO, A. R. Avaliação do impacto do ciclo de vida: revisão dos principais métodos. Production /Produção. São Paulo. v.26. n.1. p. 160-175. 2016.
- PIEKARSKI, C. M. Modelo multicritério para apoio à tomada de decisão baseado em avaliação do ciclo de vida e indicadores corporativos. / Cassiano Moro Piekarski. – Ponta Grossa, 2015. 146f.: il. 30cm. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2015.

- PUETTMANN, M. E.; WILSON, J. B. Life-cycle analysis of wood products: cradle-to-gate lci of residential wood building materials. In.: Wood and Fiber Science. v.37. Corrim Special Issue. p. 18–29. 2005.
- RODRIGUES, T. O. (2013). Avaliação dos impactos ambientais da produção de bioóleo a partir de serragem no estado do Pará. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.TD – 29/2013, Departamento de Engenharia Florestal. Universidade de Brasília, Brasília, DF, 184p.
- ROMÃO, E. L. Avaliação do ciclo de vida do produto. Departamento de Ciências Básicas e Ambientais. Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, EEL-USP. Notas de aula. 2016_2.
- SABLOWSKI, A. R. M. Balanço de materiais na gestão ambiental da cadeia produtiva do carvão vegetal para produção de ferro gusa em Minas Gerais. Tese de Doutorado em Ciências Florestais. Publicação PPGEFL.TD – 002/2008. Departamento de Engenharia Florestal. Universidade de Brasília. Brasília. DF. 2008. 164 p.
- SCHLÖR, H; HAKE, J.-FR. Sustainability assessment circle. In.: The 7th International Conference on Applied Energy – ICAE2015. Energy Procedia 75. p. 2641-2648. 2015.
- SOCIETY OF ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY – SETAC. Guidelines for life-cycle assessment: a code of “practice”. Sesimbra: Ed. Consoli, F *et al.* Pub. Setac. 1993. Workshop 31/3 – 3/4/1993.
- STRAKA, T. J.; LAYTON, P. A. Natural resources management: Life cycle assessment and forest certification and sustainability issues. Sustainability v.2. p. 604-623. 2010.
- THE INTERNATIONAL BANK FOR RECONSTRUCTION AND DEVELOPMENT/THE WORLD BANK GROUP – IBRD. Planning for a low carbon future. Low carbon growth country studies program: lessons learned from seven country studies. Energy Sector Management Assistance Program. USA. Carbon Finance-Assist Program World Bank Institute. USA. Department for International Development, UK. 2012.
- THE INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. Environmental management – Life cycle assessment – Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis. PD ISO/TR 14049:2000. ISO/TR 14049:2000. British Standards Institution – BSI. 2000. 43p.
- UGAYA, C. M. L. Avaliação do Ciclo de Vida de Produtos – Cap. 9. In.: Gestão ambiental / Paulo José Adissi, Francisco Alves Pinheiro e Rosângela da Silva Cardoso. – 1.ed. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.
- UNITED NATIONS. Population Division (2014). World urbanization prospects: the 2014 revision. Highlights (ST/ESA/SER.A/352). Department of Economic and Social Affairs, New York. 2014a.
- _____. Population division. Urban and rural areas 2014. Department of Economic and Social Affairs. New York. 2014b.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Life cycle approaches, the road from analysis to practice. Division of Technology, Industry and Economics (DTIE). Production and Consumption Unit. Paris, France. 2005. 89p.
- _____. Life cycle management: a business guide to sustainability. UNEP/SETAC. Life Cycle Initiative at UNEP. Division of Technology Industry and Economics. 2007. 51p.
- _____. Guidelines for social life cycle assessment of products. UNEP/SETAC Life Cycle Initiative at UNEP, CIRAIG, FAQDD and the Belgium Federal Public Planning Service. 2009. 103p.

- ____. Towards a life cycle sustainability assessment: making informed choices on products. UNEP/SETAC. Life Cycle Initiative at UNEP. 2011. 65p.
- ____. Uncovering pathways towards an inclusive green economy: a summary for leaders. Coord. Angeline Djampou. 2015.
- WILLERS, C. D.; RODRIGUES, L. B.; SILVA, C. A. Avaliação do ciclo de vida no Brasil: uma investigação nas principais bases científicas nacionais. *Production / Produção*. São Paulo. v.23. n.2. p. 436- 447. 2013.
- WILLERS, C.D., RODRIGUES, L.B.A. Critical evaluation of Brazilian life cycle assessment studies. *International Journal of Life Cycle Assessment*. p. 1-9. 2013.
- ZAMAGNI, A. Life cycle sustainability assessment. *International Journal Life Cycle Assessment*. V. 17. p.373:376. 2012.
- ZANGHELINI, G. M.; CHERUBINI, E.; GALINDRO, B. M.; ALVARENGA, R. A. F.; SOARES, S. R. A Aplicação da avaliação do ciclo de vida no Brasil na última década. IV Congresso Brasileiro sobre Gestão pelo Ciclo de Vida. São Bernardo do Campo. SP. 2014.

