



Rede Empresarial
Brasileira de Avaliação
de Ciclo de Vida

WHITE PAPER

Avaliação de Ciclo de Vida: Requisitos ISO 14044 x prática Recomendações da Rede ACV para questões subjetivas

Autores:

Edivan Cherubini | EnCiclo
Fernanda Belizario Silva | IPT
Tiago Barreto Rocha | ACV Brasil
Yuki Hamilton Onda Kabe | Braskem
Mariane Guerra Martins | Sintronics
Michele Scachetti | Fundação Espaço ECO®
Leonardo Guimarães Ribeiro | ArcelorMittal
Paula da Silva Carvalho | KPMG
Sonia Karin Chapman | Rede ACV

Janeiro 2022

Rede ACV

A importância da experiência empresarial

A Rede Empresarial Brasileira de Avaliação de Ciclo de Vida (Rede ACV) foi lançada em 2013, logo após a Rio+20, quando vários manifestos internacionais, como a Life Cycle Initiative (Nações Unidas, 2002) e o próprio documento “O Futuro que Queremos”, entre outros, reforçaram a necessidade de se considerar os impactos ambientais ao longo de todo o ciclo de vida, de forma integrada, para otimizar a gestão e evitar a mera transferência de problemas ambientais de um meio para o outro ou de uma etapa do ciclo de vida para outra. Já havia ambientes de discussão conceitual e acadêmica desse conceito, inclusive no Brasil, mas permanecia a necessidade de criação de um ambiente empresarial, no qual organizações pudessem compartilhar suas experiências concretas.

A Missão da Rede ACV é mobilizar as empresas, articular governos e educar o consumidor visando incorporar o pensamento de ciclo de vida e a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) como conceitos e ferramentas para determinar a sustentabilidade dos produtos. Para isso, ela visa criar um ambiente de cooperação para o uso de ACV no Brasil; educar e capacitar a sociedade sobre esse conceito, sua aplicação e seus benefícios; disponibilizar e disseminar para diversos públicos informações sobre ACV no Brasil e apoiar o governo na consolidação do Banco de Inventários Brasileiro.

Por meio de seus Grupos de Trabalho e suas iniciativas, a Rede ACV almeja ser referência para a aplicação e desenvolvimento da ACV no Brasil, fomentar a aplicação das boas práticas relacionadas ao tema no ambiente empresarial brasileiro contribuindo para a defesa, preservação e conservação do meio ambiente e a promoção do desenvolvimento sustentável.

A ACV é, antes de tudo, uma forma sistêmica e holística de pensar e, portanto, gerenciar impactos. Ela orienta a consideração de várias dimensões e de vários elos da cadeia de produção e consumo, refletindo a complexidade na qual todos estamos inseridos. Além de contribuir com uma mensuração concreta, que possibilita uma análise objetiva da situação e dos cenários de aprimoramento de determinado aspecto, ela torna o processo transparente, possibilitando uma interação entre áreas da empresa, sua cadeia de fornecedores e seus clientes, aproximando todos os atores no objetivo comum de promoverem a sustentabilidade.

O fato de políticas públicas, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos, a RenovaBio e até mesmo a nova Lei de Licitações, publicada em 01.04.2021, incorporarem o pensamento de ciclo de vida em geral e a ACV em particular, e a existência de incentivos financeiros, como a chamada Lei do Bem ou o Rota 2030, que permitem e até incentivam o uso de estudos de ACV para a demonstração de determinados benefícios ambientais, aponta que o conceito está ganhando representatividade e relevância no Brasil.

O presente documento, de autoria da Comissão de Estudos de Metodologias da Rede ACV, expressa a prática concreta de empresas, em momentos nos quais a Norma não é clara, seja na condução, como na revisão de estudos de avaliação do ciclo de vida. Deste modo, a Rede ACV espera contribuir com boas práticas e servir como um guia complementar para apoiar empresas nas conduções de seus projetos.

Sumário

1	Introdução	4
2	ISO framework	5
2.1	Definição de objetivo e escopo	6
2.2	Análise de inventário	12
2.3	Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV).....	16
2.4	Interpretação.....	18
2.5	Comunicação	18
2.6	Revisão crítica	21
3	Considerações finais	22
4	Referencias	22

1 Introdução

A avaliação do ciclo de vida (ACV) é uma metodologia normatizada pela ISO 14040 e 14044, e tem aparecido com uma frequência cada vez maior no dia a dia de várias organizações. A confiança crescente nesta ferramenta está fortemente relacionada ao caráter científico dos métodos de avaliação de impacto que visam prever o potencial de impacto de um determinado produto ou serviço, ou mais recentemente também de uma organização. Outro motivo que desperta o interesse das empresas está nas várias aplicações relacionadas ao negócio, podendo ser utilizada para comprovar reivindicações sobre atributos ambientais do produto para fins de marketing ou *advocacy*, desenvolvimento de produtos mais circulares e sustentáveis (Rede ACV, 2020), desenvolvimento de novos negócios, até a tomada de decisão estratégica sobre definição de metas de redução de impacto e priorização de ações.

A confiabilidade da ACV, para além de seu background científico, pode ser atribuída à normatização do seu framework pela ISO. A normatização traz uma base comum e internacionalmente aceita por diversos stakeholders, contribuindo assim para uma harmonização da aplicação desta ferramenta. No entanto, como toda metodologia e/ou ferramenta, a ACV possui limitações, algumas diretamente relacionadas ao método, por exemplo, a atual falta de modelos para contabilizar o impacto de plásticos nos oceanos, outras relacionadas à sua aplicação, tais como uso de dados confiáveis e as escolhas metodológicas. Por escolhas, entendem-se as definições que o especialista precisa fazer ao conduzir uma ACV, tais como, a definição de uma unidade funcional, a inclusão ou exclusão de processos nas fronteiras do sistema, alocação a ser aplicada em processos multifuncionais e em fim de vida, a escolha de um número relevante de categorias de impacto e dos modelos de caracterização, entre outras.

Enquanto vários avanços têm sido conquistados no campo do desenvolvimento científico para ampliar a avaliação de impacto, no campo de qualidade dos dados e escolhas metodológicas muito ainda é relegado ao especialista em ACV. Embora as normas ISO 14040 e 14044 (ISO, 2006a,b) forneçam orientações para minimizar a influência dos dados e das escolhas nos resultados de uma ACV, ainda existem vários pontos que podem ser considerados interpretativos.

A subjetividade e a característica interpretativa da norma não são necessariamente algo negativo, pois sendo a ACV uma ferramenta quantitativa e que usa de artifícios matemáticos para modelar um problema real e dinâmico de forma linear e estacionária, por vezes, não existe um caminho correto e nem errado a ser seguido. Ambos podem ser justificáveis e aplicáveis. Além disso, engessar tais decisões pode inibir o campo da pesquisa que visa avançar no desenvolvimento da metodologia.

No campo prático, entretanto, essas decisões podem causar ruídos nos resultados. A exigência da ISO de revisão por terceira parte independente de estudos cuja finalidade seja a publicação externa, é um modo de coibir decisões equivocadas e aumentar a qualidade do estudo. Entretanto, a análise do(s) revisor(es), bem como sua interpretação, também está relegada aos pontos subjetivos da norma e à interpretação do(s) revisor(es).

Tendo o exposto em consideração, a Rede ACV, a partir de uma demanda de seus Associados, criou uma Comissão Técnica de Metodologia com a finalidade de discutir junto aos seus membros boas práticas em questões metodológicas das normas que são consideradas subjetivas para a ACV. Deste modo, para guiar as discussões a Rede encaminhou aos associados uma planilha em Excel® com os tópicos da ISO 14044 para que seus associados discutissem aqueles considerados subjetivos, trazendo a sua interpretação, preocupações e experiências. Depois de preenchida a planilha, foram realizadas quatro reuniões, uma para cada fase da ACV (ISO, 2006a), para

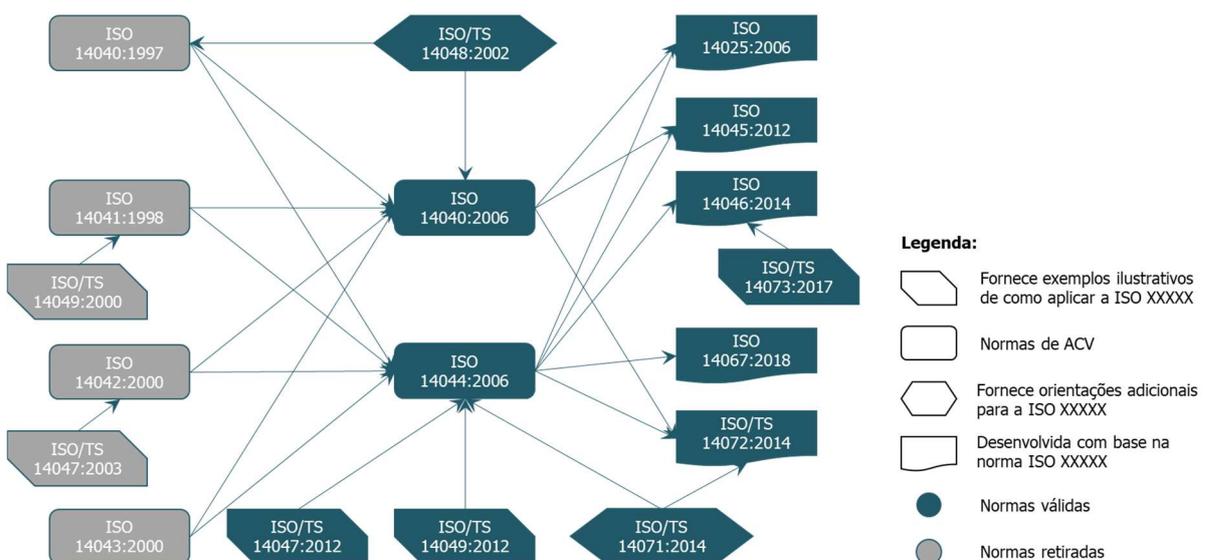
discussão dos tópicos e delineamento de recomendações. O produto destas discussões, foram então compilados neste White Paper, na qual o termo **"recomendação"** deve ser interpretado como práticas amplamente discutidas e concordadas entre os membros da Comissão de Metodologia da Rede ACV, enquanto o termo **"sugere"** é atribuído para questões nos quais foram tecidos alguns comentários, porém sem uma discussão aprofundada. Este documento, no entanto, evitará a linha de discussão para revisão da norma existente, muito embora, são discutidos pontos subjetivos para futuras evoluções da norma.

2 ISO framework

Embora os primeiros estudos de ACV datem do final de década de 1960 (Guinée et al., 2011), somente a partir da década de 1990 ocorreram grandes avanços no desenvolvimento científico da ferramenta, impulsionados e promovidos pela *Society for Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC). Como consequência desse avanço a *International Organization for Standardization* (ISO) focou na normatização da ACV tendo como base, o *Code of Practice* desenvolvido pela SETAC (Guinée et al., 2011).

Inicialmente, as normas foram divididas entre 14040:1997, 14041:1998, 14042:2000 e 14043:2000, sendo posteriormente revisadas e condensadas em apenas duas normas, a 14040:2006, que fornece a estrutura geral, e a 14044:2006, que contém todos os requisitos (Figura 1). Estas últimas são as normas válidas e amplamente utilizadas atualmente. Adicionalmente, normas complementares foram desenvolvidas para exemplificar a aplicação da ISO 14044 (ISO/TS 14047:2012 e 14049:2012) e fornecer informações adicionais sobre como realizar a revisão crítica (ISO/TS 14071:2014). Com base na norma de ACV outras normas também surgiram para endereçar questões específicas sobre água (ISO 14046:2014) e carbono (ISO 14067:2018), ampliar o escopo para inclusão de avaliação de ecoeficiência (ISO 14045:2012), comunicar os resultados (ISO 14025:2006) e para estender a análise de produtos e serviços para o escopo organizacional (ISO/TS 14072:2014). Além disso, normas específicas que tratam da aplicação da ACV em setores específicos são continuamente desenvolvidas, como a ISO 21930:2017 para produtos de construção.

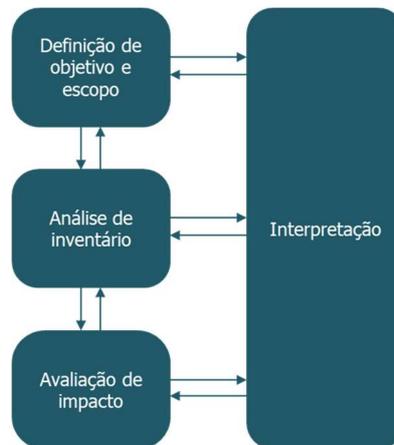
Figura 1. Quadro normativo desenvolvido com base nas normas ISO 14040 e 14044.



Com base na estrutura da ISO 14040, um estudo ou projeto de ACV é a *"compilação e avaliação das entradas, saídas e impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu*

ciclo de vida" (ISO, 2006a, p. 2), e compreende quatro fases (Figura 2), seguindo uma abordagem iterativa dentro e entre as fases da ACV (ISO 2006a).

Figura 2. Estrutura da avaliação do ciclo de vida.



Seguindo a estrutura da norma, as próximas seções deste White Paper descrevem os pontos de cada fase nas quais são reportados elementos interpretativos e pontos de divergência entre a norma e a prática da aplicação da ACV, bem como as recomendações discutidas pelos associados da Rede ACV. Adicionalmente, são discutidas a comunicação e revisão crítica, que embora não façam parte do quadro estrutural da ACV, são elementos igualmente importantes na aplicação desta ferramenta.

2.1 Definição de objetivo e escopo

A primeira fase da ACV é a definição do objetivo e escopo. A definição de objetivo deve considerar a aplicação pretendida, as razões para a realização do estudo, público-alvo e a intenção de utilizar os resultados para divulgar publicamente afirmações comparativas (ISO, 2006b). Para o escopo do estudo a norma considera obrigatórias as definições do sistema de produto, a função e unidade funcional, fronteiras do sistema, tipo e requisitos de qualidade dos dados e escolhas quanto a seleção e metodologias para avaliação de impactos, entre outras (ISO, 2006b). Nesta fase as principais dificuldades encontradas entre os requisitos da ISO e a prática ocorrem devido a escolhas metodológicas (Tabela 1).

Função e unidade funcional (UF)

A ACV é uma abordagem relativa, e seus resultados refletem essa relatividade em torno de uma unidade funcional (ISO, 2006a). Portanto, uma das primeiras definições do escopo está em identificar as funções do sistema a ser analisado e entender aquela que está relacionada ao objetivo da ACV (ISO, 2006a). A partir da função do sistema é definida a sua unidade funcional (UF), referência à qual todos os dados de entrada e saída deverão estar quantificados e relacionados para garantir a comparabilidade dos resultados da ACV (ISO, 2006a).

Embora extremamente relevante, a ISO não define métricas específicas para a definição de uma UF, assim como não fornece orientações práticas de quais parâmetros devem ser considerados para uma UF apropriada. A implicação prática dessa falta de orientação resulta em UFs diferentes para sistemas de produto que cumprem a mesma função, o que impede a comparação direta. Entretanto, a principal limitação desse requisito obrigatório (i.e. definição de UF) da ISO 14044 e sua aplicação está relacionada na condução de estudos que possuem uma abordagem do berço-

ao-portal (cradle-to-gate). Nestes casos, muitas vezes ***não é possível definir claramente uma função, uma vez que um produto intermediário pode ter várias aplicações.***

Tomemos o exemplo de uma ACV que tem como objetivo declarar o perfil ambiental do polipropileno glicol ou mesmo comparar a produção de polipropileno glicol de diferentes regiões/empresas. O polipropileno glicol tem diversas aplicações no mercado podendo ser utilizado tanto na indústria de cosméticos quanto alimentícia, entre outras. Dependendo da sua aplicação, o seu desempenho técnico em relação a produtos concorrentes será diferente. Considerando o objetivo do estudo, que não visa um mercado em específico, não é possível definir uma UF ou ao menos essa definição contribuirá pouco para o objetivo do estudo em nosso exemplo. O mesmo pode ser discutido sobre a definição de UF para produtos do setor alimentício, nos quais os alimentos podem ser utilizados para o suprimento de diversos valores nutricionais ou, na maioria dos casos, pelas questões de sabor e preferência do consumidor. Nesses casos, o estudo de ACV pode ser mais bem definido e compreendido a partir de uma unidade declarada como disposto na EN 15804 e ISO 21930 e em programas de Declaração Ambiental de Produto (EPD).

Diante do exposto, para as situações em que estudos de ACV são conduzidos para análise de produtos intermediários e/ou do setor alimentício, a Comissão de Metodologia da Rede ACV entendeu, por consenso, que unidades declaradas podem ser aplicadas como unidade de referência (Tabela 1). Adicionalmente, argumentou-se que nos estudos destes produtos sejam descritas em detalhes as propriedades técnicas do produto para que o usuário deste estudo de ACV possa considerar o desempenho do produto dependendo do seu interesse de análise.

Fronteiras do sistema e critérios de corte

A ACV é conduzida a partir de modelos que visam descrever os elementos-chave de sistemas físicos, e neste sentido, a fronteira do sistema define os processos elementares que devem ser incluídos para representar o potencial impacto do referido sistema (ISO, 2006a). No entanto, não é necessário incluir todas as entradas e saídas desde que tais exclusões não provoquem uma mudança significativa nas conclusões gerais do estudo (ISO, 2006b). Deste modo, enquanto o sistema de produto compõe toda a cadeia de valor, as fronteiras do sistema definem o que será avaliado no estudo em questão, enquanto os processos, entradas e saídas desconsiderados dentro desta fronteira definida podem ser justificados por meio de critérios de corte.

Para representar as fronteiras do sistema, estudos de ACV fazem uso de representações gráficas, normalmente utilizando-se fluxogramas de processos. A ISO recomenda que é *"útil descrever o sistema usando um fluxograma de processo que mostre os processos elementares e suas inter-relações"* (ISO, 2006b, p. 8), no entanto, esta etapa não é citada como obrigatória e não são fornecidas orientações adicionais sobre o nível de detalhe para o fluxograma. Desta forma, é comum que ***o relatório de ACV não apresente de forma gráfica um fluxograma com todos os processos e suas correlações***, uma vez que o ciclo de vida de um produto é composto por centenas ou milhares de processos elementares. A diferença no nível de detalhe de estudos de um mesmo produto conduzidos por diferentes profissionais, por vezes, pode gerar dúvidas se os estudos consideram as mesmas fronteiras do sistema e, conseqüentemente, se são comparáveis. A mesma situação pode ocorrer dentro de um mesmo estudo, quando um sistema de produto (Sistema A) possui informações primárias e detalhadas, e o sistema comparado (Sistema B) depende de um conjunto limitado de informações.

Considerando que o fluxograma é um elemento não obrigatório e que é usado com a finalidade ilustrativa para indicar as fronteiras do estudo (i.e., berço-ao-túmulo, berço-ao-portal, portal-

ao-portal ou berço-ao-berço) e que é difícil desenvolver um template com um número mínimo de fluxos e reporte, a Comissão de Metodologia da Rede ACV recomenda que:

- Os estudos de ACV apresentem em seu fluxograma de forma clara até que estágio do ciclo de vida o estudo se refere, i.e., com a definição da fronteira do sistema demonstrando todos os estágios (aquisição de matérias-primas, transformação do material, fabricação do produto, distribuição, uso e manutenção, fim de vida (End-of-Life, EoL)) da cadeia de valor, ilustrando inclusive os estágios do ciclo de vida que estão fora das fronteiras do sistema.
- Para os estágios do ciclo de vida que estão dentro das fronteiras do sistema do estudo de ACV, o fluxograma deve apresentar por processos elementares os processos que compõem o modelo foreground (independente de possíveis agregações de processos na modelagem).
- Para os estágios do ciclo de vida que estão dentro das fronteiras do sistema do estudo de ACV, o fluxograma deve apresentar os processos mais relevantes que compõem o modelo background.
- Caso algum processo relevante dentro dos estágios do ciclo de vida na fronteira do sistema não tenha sido considerado (e.g. falta de dados ou datasets), é preciso ilustrar tal processo posicionando-o fora da fronteira do sistema para dar transparência ao usuário que tal processo, embora relevante e dentro dos estágios do ciclo de vida considerados, não foi contabilizado nos resultados da ACV.

Os critérios de corte, de acordo com a norma, devem ser estabelecidos e descritos de forma clara (ISO, 2006b). A norma sugere critérios de corte por massa, energia e/ou significância ambiental, embora não os coloque como obrigatórios, e deixa para o profissional definir os critérios aplicáveis para o estudo de ACV. Os critérios de massa e energia estão relacionados à exclusão de entradas e saídas cuja contribuição cumulativa seja inferior a uma determinada porcentagem relativa à massa e energia total consumidas pelo sistema de produto, respectivamente (ISO, 2006b). Embora a norma não defina a porcentagem, os profissionais e pesquisadores de ACV acabam adotando que a massa e energia inferiores a 1% do total e que somados não ultrapassem 5% do total podem ser desconsiderados. Quanto ao critério de significância ambiental a norma permite que entradas sem relevância ambiental possam ser consideradas.

Partindo dos requisitos e definição da ISO, na prática muitos especialistas em ACV encontram dificuldades para a **aplicação de critérios de corte**.

A coleta de dados, por exemplo, é comumente realizada por pessoas da ponta (i.e. colaboradores de uma empresa) que não estão envolvidos diretamente no estudo, e que por vezes definem seu próprio critério de corte não sendo, necessariamente, os definidos pela equipe que está conduzindo o estudo.

A aplicação do critério de corte de "significância ambiental" é problemática, enquanto alguns fluxos podem ter sua relevância ambiental identificados de forma simples, tais como urânio e benzeno, para outros fluxos é necessária uma avaliação mais profunda, o que acaba resultando na necessidade de coletar dados para essa avaliação e, por fim, na sua inclusão no modelo uma vez que os dados já estão disponíveis. Um exemplo compartilhado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) foi o de desenvolvimento de datasets de materiais de construção para a base de dadosecoinvent®. Na avaliação sobre a necessidade de coleta de dados de bens de capital para o inventário, a orientação foi a utilizar dados secundários da própria base doecoinvent®, uma vez que foram julgados como similares. Essa orientação possui sua justificativa pela frequente baixa contribuição que a infraestrutura possui em projetos de ACV, principalmente com

relação aos maquinários usados na fabricação de um produto. No entanto, ao analisar os resultados do inventário, os fluxos relacionados à infraestrutura possuíam uma contribuição relevante para a categoria de depleção de recursos abióticos por serem os únicos processos na fronteira do sistema que utilizavam elementos metálicos (Silva et al., 2018). Esse exemplo demonstra que a significância ambiental deve ser observada com relação às categorias de impacto consideradas relevantes para o sistema de produto em questão, com base na experiência do executor do estudo de ACV.

Critérios de corte com base na massa, embora menos problemáticos que o de significância ambiental, também possuem limitações na prática. Por exemplo, como definir se a inclusão de um material auxiliar (e.g. óleo lubrificante) é relevante ou não, se não há informações sobre o consumo total do óleo com relação as entradas totais? Se a informação está disponível, por que não a incluir? Na prática, a maioria dos especialistas admitem que independente dos critérios de corte todos os fluxos que possuem informação quantitativa são considerados. Por outro lado, essas considerações geram dúvidas sobre a necessidade de se coletar dados para outros fluxos cujas informações quantitativas não estejam disponíveis, sendo que a coleta de dados é a etapa que mais consome recursos e requer esforço em um estudo de ACV.

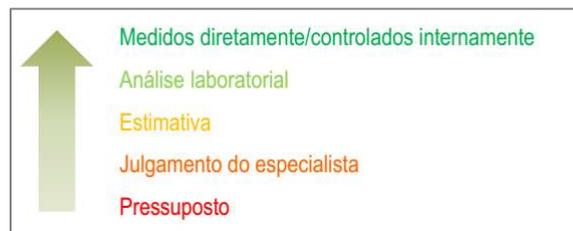
A Comissão de Metodologia da Rede ACV recomenda que o uso da significância ambiental como critério deva ser utilizado somente quando observada a relevância do fluxo frente às categorias de impacto relevantes para o sistema de produto (Tabela 1).

Tipos e fontes de dados

Os dados a serem selecionados para uma ACV podem ser coletados nos locais de produção ou obtidos a partir de outras fontes, e podem ser uma mistura de dados medidos, calculados ou estimados (ISO, 2006b). Esta possibilidade para uso de informações de diferentes fontes concedida pela ISO é justificada pela quantidade de dados que uma ACV demanda para a modelagem do ciclo de vida de um produto. Portanto, é comum que o especialista em ACV precise usar dados de diferentes origens e qualidades para que consiga ter um inventário completo.

Embora o uso de diferentes fontes de dados seja necessário, na prática algumas limitações e preocupações podem ser levantadas com relação **ao uso de dados de baixa qualidade**. O uso de dados de qualidade insuficiente para o cumprimento do objetivo e escopo do estudo, muitas vezes está associado à facilidade do uso de dados secundários a partir de base de dados de ACV, e não à impossibilidade de coleta dos dados primários. Neste sentido, a Rede ACV recomenda que seja priorizada a coleta de dados primários e medidos, conforme ranking apresentado na Figura 3. Adicionalmente, entende-se que dados de qualidade não necessariamente se limitam aos dados primários coletados diretamente pela empresa, uma vez que o uso de dados secundários a partir de artigos científicos publicados em periódicos com alto fator de impacto e/ou dados de relatórios com estatísticas oficiais representam uma informação de boa qualidade, desde que se observe a representatividade desses dados para a situação que eles pretendem modelar.

Figura 3. Ranking de qualidade da informação.



Requisitos de qualidade dos dados

De acordo com a ISO (2006b), os requisitos de qualidade dos dados especificam as características dos dados para o cumprimento do objetivo e escopo da ACV e são importantes para que o usuário/leitor consiga entender o nível de confiabilidade dos resultados e interpretá-los de forma adequada. Para tanto, a norma lista os seguintes requisitos de qualidade: cobertura temporal, cobertura geográfica, cobertura tecnológica, completeza, representatividade, consistência, reprodutibilidade, fonte dos dados e incerteza da informação.

Existem alguns pontos neste tópico da norma que geram confusão e que faltam clareza. O primeiro está relacionado aos termos usados na ISO, conforme:

*"4.2.3.6.2 **Convém que** (os requisitos de qualidade dos dados abrangem:*

a) [...]

*Quando se pretende utilizar um estudo em afirmações comparativas a serem divulgadas publicamente, os requisitos de qualidade dos dados mencionados em a) a j) acima **devem ser** atendidos." (ISO 2006b, p. 10, grifo nosso).*

É comum que alguns profissionais se apeguem ao primeiro termo "Convém que" para estudos com afirmações comparativas com a intenção de divulgação, por outro lado, também é comum que outros se apeguem ao "devem ser" mesmo para estudos que não possuem intenções de realizar afirmações comparativas. Idealmente, a norma deveria requisitar o mesmo nível de qualidade para um estudo de ACV, independentemente do estudo não ser usado para afirmações comparativas. Além de evitar possíveis confusões e diferentes interpretações, evita-se que uma empresa opte por publicar dois estudos separados de produtos concorrentes e declarar que não existe a intenção de realizar afirmações comparativas, e assim não cumprir com todos os requisitos, quando na verdade existe a intenção velada de que os estudos sejam comparados.

O segundo problema identificado pelos membros da Comissão de Metodologia da Rede ACV está relacionado à subjetividade dos critérios de qualidade que precisam ser atendidos, como por exemplo:

- Qual o nível de qualidade a ser atendido dentro de cada critério?
- Como garantir a representatividade dos dados sem uma análise estatística ou dados descritivos de estatística (e.g. desvio padrão, coeficiente de variação, etc.)?
- Como garantir e comprovar a completeza dos dados?

A norma não fornece orientações quanto à metodologia a ser seguida, tão pouco fornece exemplos de como verificar a qualidade da informação. Na prática, o que se observa é uma 'guerra' entre os condutores do estudo, afirmando que determinado procedimento atesta a qualidade da informação, e os revisores que entendem que o procedimento não atende aos critérios de qualidade.

O terceiro problema está relacionado às contradições da norma, que cita o uso de “*tecnologia específica*” (ISO, 2006b, p.10 item 4.2.3.6.2) como requisito de qualidade, ao mesmo tempo em que cita “*conjunto de tecnologias*” (ISO, 2006b, p.10 item 4.2.3.6.2) e “*empreguem tecnologia similar*” (ISO, 2006b, p.10, item 4.2.3.6.3). Desta forma, a norma pressupõe que existe uma homogeneidade de tecnologias no que diz respeito aos seus impactos ambientais, enquanto na prática observa-se que podem existir uma grande variabilidade de impacto entre fábricas que empregam a mesma “tecnologia”.

O quarto problema está relacionado à viabilidade de execução de um estudo dentro dos limites de tempo e recursos disponíveis. Dentre os identificados pela Comissão citam-se: a viabilidade para coletar dados representativos da tecnologia de todos os inputs tecnológicos ou mesmo os relevantes que podem estar localizados em *Tiers* iniciais da cadeia de valor. O mesmo se aplica à cobertura geográfica, quando o único dado acessível é de médias europeias, embora o fornecedor esteja localizado na Ásia, por exemplo. Com relação à cobertura temporal, embora os dados primários ou os secundários coletados diretamente pelo especialista em ACV sejam limitados a 5 anos de idade, o uso de bases de dados para completar o modelo de ACV invariavelmente irá resultar na utilização de dados com idade superior a 10 anos em alguns datasets de background.

Para endereçar os requisitos de qualidade de dados, a Comissão de Metodologia da Rede ACV recomenda que:

- Sejam utilizados métodos/procedimentos para descrever a qualidade dos dados, tais como a matriz pedigree, que é comumente utilizada pelas bases de dados de ACV ou por meio de métodos estatísticos.
- Para a completeza, que os processos respeitem o balanço de massa entre entradas e saídas, além de observar questões relacionadas a significância ambiental dos fluxos.
- Para elaboração de inventários nacionais, que sejam utilizados métodos estatísticos para definir amostra e representatividade dos dados, bem como para estimar a incerteza associada a esses dados (por exemplo, o coeficiente de variação atrelado ao valor médio declarado no inventário).
- Relatar de forma clara qual o requisito de qualidade de dados para atender o objetivo e escopo do projeto/estudo em questão e trazer os resultados dessa análise de qualidade dos dados nas conclusões.

Adicionalmente, a recomendação sobre o uso de dados primários também se aplica aqui para o cumprimento dos requisitos de qualidade dos dados.

Comparações entre sistemas

Para estudos comparativos, a equivalência funcional dos sistemas deve ser garantida e o mesmo escopo deve ser considerado, de tal maneira que sejam utilizadas a mesma unidade funcional e considerações metodológicas, tais como desempenho, fronteira do sistema, qualidade dos dados, procedimentos de alocação, regras para decisões quanto à avaliação de entradas e saídas e avaliação de impacto (ISO, 2006b). A norma ainda solicita que quaisquer diferenças sejam identificadas e relatadas.

Neste tópico, a principal questão levantada é a ***garantia de comparabilidade dos dados usados para os diferentes sistemas de produto***. Em um estudo de ACV comparativo de produtos, é frequente que um sistema A, modelado a partir de dados da própria empresa, seja comparado a um sistema B, que é modelado a partir de dados secundários. Deste modo, vão existir diferenças nos níveis de qualidade de informação. Dois pontos precisam ser considerados: o primeiro é que equivalência não necessariamente significa que os dados precisam ter o mesmo nível de

qualidade, embora isso seja desejável. O segundo é que a norma não invalida os resultados de um estudo mesmo que os dados possuam uma diferença considerável em termos de qualidade de informação. Entende-se aqui por “diferença considerável” ou “diferença relevante/significativa” um dado da melhor qualidade (média de um período razoável – ex. 6 meses – e coletado de fontes primárias) com um dado de qualidade baixa/insuficiente (um único dado de uma realidade diferente do produto, coletado de fontes secundárias).

Enquanto dados equivalentes, porém não iguais, não significam uma ACV de má qualidade e/ou que não possa ser utilizada para uma tomada de decisão, uma diferença significativa da qualidade dos dados pode minar a confiança da ferramenta e a sua aplicação para uma tomada de decisão.

Deste modo, para endereçar o primeiro ponto, a Comissão de Metodologia da Rede ACV recomenda que os dados sejam avaliados quanto aos requisitos de qualidade dos dados e que suas diferenças sejam relatadas de forma transparente no relatório. Além disso, é fortemente recomendado que as incertezas associadas aos resultados da ACV (indicadores de categoria de impacto) sejam estimadas com o uso de métodos estatísticos (por exemplo, propagação de incertezas via simulação de Monte Carlo) ou mesmo por opinião de especialista¹, e que estas incertezas sejam incluídas no relatório, para que a comparação não seja feita apenas com base em valores únicos determinísticos (que não necessariamente são valores médios). Análises de sensibilidade podem ser utilizadas como um método complementar para avaliar as incertezas do estudo. Com relação ao segundo ponto, a Comissão recomenda que sejam incluídos na Declaração de Revisão Crítica comentários quanto a diferença de dados e/ou quanto a impossibilidade de afirmação de superioridade de um produto frente ao outro, quando for o caso.

Adicionalmente, a Comissão de Metodologia sugere que o especialista em ACV, revisor e usuário/leitor, estejam atentos para que decisões metodológicas quanto a UF, fronteiras do sistema (ex. todos sistemas consideram a fase de uso ou todos consideram as emissões dos processos principais), procedimentos de alocação em pontos equivalentes da cadeia (e.g. adotar alocação cut-off para EoL do sistema A, e 50:50 para EoL no sistema B) e métodos de AICV sejam as mesmas entre os sistemas comparados.

2.2 Análise de inventário

A fase de análise de inventário do ciclo de vida (ICV) é a etapa que envolve a coleta de dados para construção do inventário de entradas e saídas associados ao sistema em estudo (ISO, 2006a). Depois das definições que conformam o escopo da ACV, esta é a etapa mais importante do projeto de ACV, uma vez que os resultados são dependentes da qualidade da informação coletada e usada na modelagem do sistema de produto.

Coleta de dados

Esta etapa envolve a coleta de dados quantitativos para a construção do inventário e cálculo dos potenciais impactos, e qualitativos que explicam e caracterizam a informação e sua qualidade. Deste modo, a ISO recomenda que algumas medidas sejam adotadas para garantir um entendimento uniforme e consistente dos sistemas modelados, tais como o desenho de fluxogramas gerais, descrição detalhada de cada processo elementar e os fatores que influenciam suas entradas e saídas, lista de fluxos e de dados relevantes, lista das unidades utilizadas, descrição da coleta dos dados e instruções para documentar casos especiais (ISO, 2006b).

¹ Especialistas, por vezes, conseguem determinar com um nível maior de confiabilidade o quanto um dado pode variar quando comparado ao uso do Monte Carlo com valores padrão de incerteza doecoinvent®. Deste modo, a Comissão de Metodologia da Rede ACV entende que este tipo de abordagem é útil e que contribui para análise de incerteza e variabilidade de uma ACV.

Na prática observa-se que os estudos apresentam uma **descrição limitada de cada processo elementar**. Alguns fatores levantados pelos especialistas em ACV que prejudicam uma descrição detalhada de cada processo são a quantidade de processos elementares de uma cadeia de valor que inviabiliza a descrição detalhada de todos os processos; a falta de engajamento das empresas que fornecem os dados para repassar informações que descrevem o processo (foco das empresas está na informação quantitativa); o modo como as empresas controlam os seus dados. No caso deste último item, uma menção importante está no entendimento do especialista que os dados geralmente são mais confiáveis quanto mais próximos estiverem do modo como as empresas controlam suas informações, sendo que por vezes não é possível a divisão dos dados pelos diversos processos elementares dentro de uma planta industrial.

Conforme descrito na Tabela 1, a Comissão de Metodologia recomenda descrições detalhadas para cada processo² no modelo *foreground* e que foram coletados diretamente pelo especialista, sejam primários ou secundários (artigos, relatórios). Recomenda-se que, na descrição dos processos, sejam fornecidas informações de contato do responsável pelos dados permitindo o rastreamento e/ou solicitação de informações adicionais, caso necessário. No caso de informações secundárias, a descrição dos processos deve fornecer as referências corretas e completas dos dados coletados para a construção do inventário do ciclo de vida. Caso sejam utilizados dados agregados de vários processos, recomenda-se a descrição dos processos elementares incluídos em cada agregação dos dados, para garantir a transparência do modelo e consequente comparabilidade entre fronteiras dos sistemas de produto, indicando se a agregação interfere na interpretação dos resultados e no cumprimento dos objetivos do estudo. Os nomes dos datasets usados na construção do modelo de ACV devem ser citados.

De forma complementar, a Comissão sugere que sejam consultadas legislações ambientais aplicáveis ao produto para identificar quais controles são feitos, sobretudo das emissões para o ar e para a água, pois isso é um indicativo de como essas informações podem ser obtidas quando da coleta de dados primários das empresas. No entanto, observa-se que há uma limitação nessa abordagem, uma vez que emissões consideradas importantes para uma ACV podem não ter legislação específica, tais como emissões de gases de efeito estufa.

Procedimentos de cálculo

A norma define que todos os procedimentos de cálculo devem ser documentados de forma explícita e que os pressupostos do estudo estejam justificados e listados de forma clara (ISO, 2006b). Neste tópico, não existe clareza quanto a quais procedimentos de cálculo a norma se refere e muito menos quanto ao nível de detalhe nos quais estes 'procedimentos de cálculos' devem ser apresentados. Deste modo, alguns especialistas entendem que conversões de unidades, relações ou adequações dos dados para UF, que normalmente são cálculos simples (e.g. regras de três), não devem ser documentadas, enquanto outros acreditam que todo o memorial de cálculo deve estar documentado.

As diferentes interpretações da norma por vezes resultam na **falta transparência dos cálculos realizados**. Outra questão levantada pelos membros da Comissão foram as situações em que são realizadas **adaptações em datasets existentes de bases de dados**.

Para endereçar a falta de transparência, a Comissão de Metodologia da Rede ACV recomenda que dados estimados com base em guidelines ou roteiros e/ou transformações de dados com base em diferentes fontes precisam ser documentados explicitamente e ter seu memorial de

² Processo modelado não necessariamente representa um processo elementar. O processo modelo pode ser a agregação de dois ou mais processos elementares devido a impossibilidade de subdivisão.

cálculo com equações e parâmetros usados nas equações descritos de forma transparente. Cálculos realizados em dados de fontes primárias e/ou estimadas por especialistas da empresa e/ou parceiro da contratante precisam ser documentados caso possuam influência significativa nos resultados da ACV.

Com relação às adaptações de dataset, é recomendado que quaisquer adaptações no dataset original, sejam estas simples alterações de matriz energética e/ou origem de fluxos elementares até correções eventuais em alguns dos dados de entrada e saída dos datasets, precisam documentadas de forma clara.

A definição de cálculos de dados e/ou de processos relevantes pode ser determinada a partir de uma análise de contribuição por processo elementar (de questões significativas). Para as situações em que foi constada baixa contribuição, sugere incluir uma declaração “este item não será detalhado pela baixa contribuição”.

Validação dos dados

A validação de dados deve ser conduzida para verificar se os requisitos de qualidade de dados foram atendidos e podem envolver o uso de balanços de massa e de energia e/ou de análises comparativas de fatores de emissão (ISO, 2006b).

A Comissão de Metodologia da Rede ACV recomenda que para estudos que visam a elaboração de inventários ou estudos de ACV com reivindicação de representação nacional, dados com contribuição significativa para os resultados devem ser comparados com a literatura científica especializada para validação. Com relação a balanços de massa, embora sejam considerados recursos úteis, entende-se que existem limitações quanto ao seu uso para validar dados, pois dependem do setor/aplicação. Por exemplo, em processos petroquímicos ou em processos de combustão, muitas vezes podem existir um erro no balanço de massa.

Procedimentos de alocação

Alocação é a “repartição dos fluxos de entrada ou saída de um processo ou sistema de produto entre o sistema de produto em estudo e outro(s) sistema(s) de produto” (ISO, 2006b, p.4). Deste modo, a soma das entradas e saídas de um processo alocadas entre os diferentes produtos e coprodutos devem iguais a sua soma antes da alocação (ISO, 2006b).

A alocação é, possivelmente, a questão metodológica mais discutida e controversa de um estudo de ACV com pesquisas realizadas para melhorar a validade científica dos métodos, bem como estudos analisando e criticando especificamente a hierarquia definida pela ISO 14044 (Cherubini et al., 2011; Curran, 2007; Finnveden et al., 2009, Pelletier et al., 2015). A preocupação em torno deste tópico é justificada pela influência que esta decisão possui nos resultados, ao mesmo tempo em que não se pode afirmar que existe uma abordagem correta ou mesmo preferível, uma vez que a hierarquia determinada pela ISO 14044 é criticada pela falta de transparência nesta definição de preferência de abordagem (Pelletier et al., 2015).

Uma das críticas levantadas é que a hierarquia de procedimentos de alocação da ISO é interpretada de maneiras diferentes pelos especialistas em ACV, novamente falta clareza no uso dos termos pela ISO. Um exemplo das contradições e falta de clareza da norma é apresentado por Weidema (2014), conforme:

*“O estudo **deve** identificar os processos compartilhados com outros sistemas de produto e tratá-los de acordo com o procedimento passo-a-passo³ apresentado abaixo:
a. Passo 1: **Convém que** a alocação seja evitada, sempre que possível, por meio de [...]”
(ISO, 2006b, p. 14, grifo nosso)*

Enquanto alguns profissionais focam no “convém que” ou no “sempre que possível”, que permite ao especialista interpretar como uma **recomendação**, e deste modo qualquer regra pode ser aplicada desde que tornado explícita, outros focam no “deve”, o que significa que é um **requisito** sempre evitar a alocação (Weidema, 2014).

Outro ponto de falta de clareza está no termo “expansão de sistema”, no qual muitos especialistas consideram que a expansão do sistema é o mesmo que a abordagem por substituição (ou produto evitado), embora esta última abordagem não seja mencionada na ISO 14044 (Pelletier et al., 2015). No entanto, este status de “mesma abordagem” é questionado na literatura e por alguns profissionais (Moretti et al., 2020; Pelletier et al., 2015). Além disso, como levantado nas discussões da Comissão, na “expansão do sistema de produto”, frequentemente a inclusão das funções adicionais faltantes é feita com dados secundários, que não possuem a mesma qualidade dos dados do processo inicial, o que por sua vez afeta a confiabilidade do estudo de ACV de um modo geral. Como resultado dessa falta de clareza, muitos especialistas julgam difícil aplicar a expansão do sistema na prática e/ou não a julgam como preferível em relação à alocação, o que contraria a hierarquia da norma. Outro ponto identificado foi a **falta de transparência da abordagem e critérios de alocação adotados nos estudos de ACV**, principalmente nas alocações realizadas ao longo do estudo e/ou durante a coleta dos dados que não são reportadas e justificadas.

A Comissão entende que não possui pesquisas e argumentos científicos suficientes para se posicionar com relação à hierarquia e à melhor abordagem de alocação. A posição da Comissão de Metodologia é que a abordagem de produto evitado (ou produto substituído ou créditos) equivale na prática à expansão do sistema. Assim, de forma implícita pode-se dizer que a hierarquia da norma deve ser seguida quando possível. Uma ressalva é que, na expansão do sistema por produto evitado, os mesmos requisitos de qualidade dos dados adotados para modelagem e cumprimento do objetivo da ACV sejam seguidos na definição do produto evitado.

Com relação à(s) abordagem(s) adotada pelo especialista em ACV, a Comissão de Metodologia recomenda que sejam documentados de forma clara os processos multifuncionais no modelo foreground e apresentados os cálculos (se houver), fatores de alocação e/ou dataset definido para representar o produto evitado. No caso de processos background é preciso citar qual a alocação adotada pela base de dados utilizada. Recomenda-se observar a compatibilidade do procedimento de alocação adotado pelas diversas fontes de dados de inventário utilizadas em um estudo de ACV, para evitar imprecisões.

Procedimentos de alocação para reuso e reciclagem

Com relação aos procedimentos de alocação específicos para reuso e reciclagem, novamente percebem-se algumas contradições da ISO 14044 que tornam difícil a interpretação pelos especialistas. De acordo com a norma:

“Os princípios e procedimentos de alocação em 4.3.4.1 e 4.3.4.2 também se aplicam às situações de reuso e reciclagem [...] os princípios de alocação sejam respeitados como descrito em 4.3.4.2.

[...]

4.3.4.3.3. Diversos procedimentos de alocação são aplicáveis para reuso e reciclagem.

[...]

*4.3.4.3.4. **Convém que** os procedimentos de alocação para os processos elementares compartilhados mencionados em 4.3.4.3 **utilizem**, como base para alocação, caso viável, **a seguinte ordem:***

[...]” (ISO, 2006b p. 14-15, grifo nosso)

A norma cita que a hierarquia descrita para os processos multifuncionais (na qual a expansão é preferível em relação as alocações) se aplica para os casos de reúso e reciclagem, porém, na sequência, é apresentado que para os casos de reúso e reciclagem “convém que” e “caso viável” seja utilizada uma nova ordem de hierarquia, na qual a abordagem preferível é a alocação por massa, seguida pela econômica e, por último, a por número de usos subsequentes.

Além de questões relacionadas à construção da ISO, as mesmas questões relacionadas à **falta de transparência da abordagem e critérios de alocação adotados nos estudos de ACV**, dificultam a revisão e garantia que todos os procedimentos de alocação ao longo do estudo foram aplicados de forma uniforme. Desta forma, a Comissão de Metodologia novamente não se posiciona quanto à hierarquia de quais abordagens devem ser utilizadas, o que inclui o uso da *Circular Footprint Formula* (CFF) da iniciativa de Pegada Ambiental de Produto (PEF) da comissão europeia. Entretanto, conforme Tabela 1 recomenda que seja documentada a abordagem adotada, as justificativas pela sua escolha, cálculos e premissas por trás da abordagem, bem como quaisquer dados adicionais necessários para o cálculo de alocação (e.g. fator A usado na CFF). No caso de processos background é preciso citar qual a alocação adotada pela base de dados utilizada (e.g. *Allocation at the Point of Substitution* - APOS ou Cut-off).

2.3 Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV)

A avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV) tem como finalidade prover informações adicionais para ajudar na avaliação dos resultados do ICV de um sistema de produto (ISO, 2006a). Nesta fase são avaliadas a magnitude e significância ambiental dos aspectos ambientais levantados e quantificados na fase de análise de inventário. Embora a ISO forneça elementos obrigatórios e opcionais para a AICV, a norma não define métodos específicos para uma determinada categoria de produto.

Seleção de categorias de Impacto, Indicadores de categoria e modelos de caracterização

A seleção das categorias de impacto de uma ACV deve ser justificada, consistente com o objetivo e deve refletir um conjunto abrangente e relevante das questões ambientais relacionadas ao sistema de produto em estudo (ISO, 2006b).

Esta relação de dependência do produto para definição de categorias de impacto e que ao mesmo tempo precisa ser abrangente é entendido pela Comissão como uma definição subjetiva na qual não há um procedimento claro e objetivo a ser recomendado para **a seleção de categorias impacto relevantes**. Na prática, pela facilidade que os softwares de ACV proporcionam, os estudos de ACV com frequência fazem uso de várias categorias de impacto (normalmente todas as existentes no método de AICV definido). Embora, essa praticidade ofereça a vantagem de uma visão mais ampla do perfil ambiental de um produto, uma desvantagem é o uso de categorias de impacto pouco relevantes para um sistema de produto serem usadas para reivindicar a superioridade ambiental de um produto. Além disso, quanto mais abrangente o escopo de categorias de impacto, maior a quantidade de dados de inventário que se precisa coletar, e em alguns casos, dados secundários podem não estar disponíveis, ou não serem suficientemente representativos.

Com relação à escolha dos métodos de AICV, poderia ser argumentado que a escolha do método deve representar a realidade do sistema de produto em estudo. Entretanto, as cadeias de valor são pulverizadas em diferentes regiões, deste modo a escolha de um método que represente a realidade de um país (e.g. Brasil), não significa que terá uma precisão maior que a escolha por um método de AICV que represente outra realidade, uma vez que as emissões ocorrem em várias

regiões do mundo. Desta forma, enquanto bases de dados com fluxos regionalizados e métodos de AICV regionalizados não estiverem completamente operacionalizados, não é possível recomendar um método específico - com exceção daquelas categorias de impacto que refletem efeitos de ordem global, como o Aquecimento Global ou a Depleção de Ozônio Estratosférico. Esse argumento se mantém verdadeiro mesmo considerando o método ReCiPe 2016 que reivindica o uso de modelos representativos para realidade global, mas que possui premissas e dados por trás dos modelos que ainda se baseiam em realidades específicas.

Diante do exposto, a Comissão de Metodologia entende que a única recomendação, para além das justificativas exigidas pela ISO, é a de considerar ou pelo menos utilizar as categorias de impacto relevantes para o sistema de produto em estudo quando realizar afirmações ou tomada de decisão com base nos resultados da ACV (Tabela 1).

Correlação dos resultados do ICV às categorias de impacto selecionadas (classificação) e Cálculo dos resultados dos indicadores de categoria (caracterização)

A correlação dos resultados do ICV é conexão dos fluxos com as categorias de impacto para o qual estes fluxos possuem um potencial de impacto, enquanto o cálculo diz respeito a conversão desses fluxos para unidades comuns (potencial de impacto) e agregação dos resultados dentro de um mesmo indicador (categoria de impacto) (ISO, 2006b).

Embora a norma forneça orientações de como as etapas de classificação e caracterização devam ser conduzidas, na prática esta etapa é realizada automaticamente com o auxílio de softwares de ACV. Dessa forma, alguns profissionais argumentam que é difícil comprovar que o estudo tenha sido conduzido em conformidade com estes requisitos da ISO e que nenhum fluxo elementar importante tenha sido desconsiderado dos resultados de AICV. Por exemplo, um modelo de caracterização para a categoria de impacto de acidificação pode requerer que as emissões sejam declaradas como "SO₂"; caso sejam inseridas no software como "SO_x", elas não serão contabilizadas.

Para minimizar tais efeitos, a Comissão de Metodologia recomenda que sejam documentados no relatório fluxos ou estudos que classificam e caracterizam manualmente os resultados do ICV para conversão em categorias de impacto. Nas situações em que estas etapas são realizadas por meio de softwares, recomenda-se que seja verificada a quantidade de substâncias não consideradas na AICV.

Análise adicional da qualidade dos dados de AICV

A norma recomenda o uso de técnicas e informações adicionais na fase de AICV com o objetivo de verificar a sensibilidade e a incerteza nos resultados (ISO, 2006b). Dentre as técnicas descritas estão a análise de contribuição, de incerteza e de sensibilidades. A avaliação das incertezas geradas pela AICV é considerada importante, devido à incerteza inerente dos modelos de caracterização ao tentar criar uma relação matemática entre a emissão de um poluente (aspecto ambiental) e os seus efeitos dentro do mecanismo ambiental (potencial de impacto). Deste modo, o uso de métodos estatísticos para avaliar a incerteza dessa etapa, principalmente no que diz respeito as categorias de toxicidade, deveria ser obrigatório.

A principal limitação dessa atividade, no entanto, está relacionada a **falta de operacionalização para avaliação de incerteza em nível de AICV**, sobretudo nos softwares comerciais de ACV. Deste modo, a Comissão recomenda que seja conduzida uma análise de sensibilidade dos métodos de AICV e que os resultados desta análise sejam citados nas conclusões caso a escolha de diferentes métodos resulte em uma alteração nas conclusões do estudo. Para estudos de ACV, em especial estudos comparativos, que envolvam categorias de impacto de toxicidade humana e

ecotoxicidade, recomenda-se que o relatório informe o leitor a respeito do alto nível de incerteza dessas categorias de impacto, mesmo que não seja possível quantificá-lo por métodos estatísticos.

2.4 Interpretação

A fase de interpretação é a quarta e última de um projeto de ACV. Nesta fase, os resultados do ICV e da AICV são sumarizados e discutidos para o desenvolvimento das conclusões, recomendações e a tomada de decisão conforme o objetivo e escopo da ACV (ISO,2006a).

Verificação de completeza, sensibilidade e consistência

O objetivo da verificação de completeza é assegurar que todas as informações relevantes e dados necessários tenham sido considerados e que sejam completos (ISO, 2006b). Enquanto a verificação de sensibilidade visa avaliar a confiabilidade dos resultados frente às incertezas dos dados e às escolhas metodológicas (ISO, 2006b), a verificação de consistência é conduzida para assegurar que os pressupostos, métodos e dados são consistentes com o objetivo do estudo (ISO, 2006b).

Estes itens são pouco explorados pela ISO, que ***não fornece orientações de como estas verificações devem ser realizadas***. Consequentemente, há uma grande ***dificuldade em se avaliar a completeza*** dos dados, principalmente daqueles produtos em que não foram utilizados dados primários. Além disso, a automatização das etapas de classificação e caracterização por vezes também impedem a verificação se a etapa de AICV cumpre com o requisito de completeza quanto às informações relevantes.

Enquanto a completeza está fortemente relacionada aos dados usados e aos resultados calculados da AICV, a sensibilidade e consistência possuem forte relação com as escolhas metodológicas. A primeira para verificar o quanto uma decisão pode afetar o resultado, e a segunda para verificar se as decisões foram consistentes ao longo do estudo (e.g. se foram adotadas as mesmas abordagens de alocação entre os sistemas comparados). No caso da consistência, a norma ainda requisita que seja avaliado se os dados possuem o nível de qualidade necessário para atendimento ao objetivo e escopo do estudo.

Para endereçar questões relacionadas à completeza de dados e consistência dos dados em relação ao objetivo e escopo de ACV, a Comissão de Metodologia faz referência a todas as recomendações descritas para os tópicos da fase de Análise de inventário (Tabela 1) e aos requisitos de qualidade dos dados da fase de Definição de objetivo e escopo (Tabela 1). De modo complementar, é recomendado que sejam realizadas análises de sensibilidade nos procedimentos de alocação sempre que houver processos multifuncionais ou inclusão de processos de reúso e reciclagem no modelo foreground, nos métodos de AICV, pressupostos com influência nos resultados (e.g. taxas de eficiência e de reciclagem, comportamento do produto na fase de uso, etc.) e para os dados que possuem baixa qualidade e forte influência nos resultados.

2.5 Comunicação

Com relação à comunicação dos resultados de uma ACV, a ISO foca nos elementos considerados necessários em um relatório para que esta etapa seja realizada de forma completa, precisa e imparcial (ISO, 2006b). Dessa forma, a ISO diferencia o relatório entre aquele utilizado internamente pela solicitante do estudo e o relatório destinados a terceiros, os stakeholders. Na prática, as empresas costumam utilizar o mesmo relatório interno suprimindo, quando necessário, informações sensíveis e consideradas confidenciais.

Requisitos adicionais e orientações para relatórios destinados a terceiros

O relatório para terceiros é um documento referência e deve abranger todos os aspectos relacionados às decisões metodológicas, descrição dos dados utilizados, resultados da avaliação de impacto, identificação de questões significativas, conclusões, limitações e recomendações, revisão crítica (quando aplicável), entre uma série de outros requisitos da ISO 14044 (ISO, 2006b).

Neste item da ISO, a principal questão está relacionada com a **divulgação de informações confidenciais para terceiros**. O único comentário da ISO é que *"o relatório para terceiros pode ser baseado em documentação do estudo que contenha informações confidenciais, ainda que estas não sejam incluídas no relatório para terceiros"* (ISO, 2006b, p. 28, grifo nosso). Deste modo, entende-se que é necessária diferenciar entre as informações divulgadas publicamente (i.e., UF, fronteira do sistema, procedimentos de alocação e justificativas, requisitos de qualidade dos dados, método de AICV, pressupostos e todas as demais informações de definição de objetivo e escopo) e as informações que devem ser registradas (dados brutos, memória de cálculo, etc.), mas que não são divulgadas para resguardar a confidencialidade das empresas.

A Comissão de Metodologia recomenda que essa diferenciação entre informações confidenciais seja tornada explícita, e que seja informado um contato para o qual o usuário/leitor possa requisitar informações adicionais. Neste último caso, algumas estratégias podem ser adotadas pelas empresas, tais como as descritas por Koffler et al. (2019), embora não limitadas a:

- Compartilhar o relatório sob a condição de assinatura de um *Non-disclosure Agreement* (NDA)
- Ocultar ou agregar informações confidenciais no relatório
- Criar um anexo com as informações confidenciais que pode ser facilmente removido do relatório antes de compartilhar

A Comissão de Metodologia recomenda também a comunicação das incertezas relativas ao estudo e aos resultados obtidos.

Requisitos adicionais para comunicação pública de afirmações comparativas

Com relação a relatórios usados para afirmações comparativas, alguns requisitos adicionais devem ser endereçados de acordo com a ISO 14044, dos quais o mais controverso é *"caso o elemento agrupamento tenha sido incluído na ACV"*, para o qual a norma solicita que o relatório inclua uma série de declarações (ISO, 2006b).

O uso de agrupamento de categorias de impacto invariavelmente irá passar pela **etapa de normalização dos indicadores de categoria para posterior agrupamento e, mesmo que não sejam aplicadas ponderações, o simples fato de não ponderar é um julgamento de valor**, uma vez que inconscientemente o especialista acaba ponderando as categorias com pesos iguais. Nesse sentido, a ponderação é baseada em julgamentos de valor, que embora possam utilizar de métodos científicos para definir os pesos, tais como modelos de decisão de análise multicritério (MCDA), ainda assim tais modelos serão alimentados por julgamentos de especialistas.

Outro ponto, está na aparente contradição da ISO

"4.4.3.1 [...] A aplicação e o uso dos métodos de normalização, agrupamento e ponderação devem ser consistentes com o objetivo e escopo da ACV e devem ser totalmente transparentes. Todos os métodos e cálculos utilizados devem ser documentados para promover a transparência". (ISO, 2006b, p.21)

Na passagem acima, caso o uso de métodos de normalização, agrupamento e ponderação sejam consistentes com o objetivo e escopo da ACV não há limitação quanto ao seu uso, desde que tornados transparentes. Entretanto, o especialista precisa sempre ter em mente que a ISO

estrutura sempre um tópico separado para estudos que **têm a intenção** de serem divulgados e que **têm a intenção** de realizar afirmações comparativas. Assim, embora a ISO cause uma pequena confusão em não deixar claro esta limitação nessa passagem da norma, no item 4.4.5 essa proibição quanto ao uso de normalização, agrupamento e ponderação é tornada explícita, conforme:

*"4.4.5 [...] A ponderação, como descrita em 4.4.3.4, **não deve ser aplicada** em estudos de ACV que se pretende utilizar em afirmações comparativas a serem divulgadas publicamente" (ISO, 2006b, p.23, grifo nosso)*

O que pode ser considerado controverso é na sequência a ISO dispor um tópico sobre comunicação para terceiros permitindo o uso de normalização e agrupamento (que é um julgamento de valor), conforme:

*"5.3. Requisitos adicionais **para comunicação pública de afirmações comparativas**
[...]"*

*5.3.2. Caso o **elemento agrupamento tenha sido incluído na ACV**, acrescentar o seguinte:" (ISO, 2006b, p.30-31, grifo nosso)*

Embora a restrição da ISO seja claramente direcionada para a ponderação como descrita no item 4.4.3.4 da ISO 14044, como discutido acima, o agrupamento de categorias é uma ponderação igualitária.

Na prática, as ressalvas quanto ao uso de indicadores únicos (agrupados) por vezes faz com que a comunicação e uso dos resultados de uma ACV sejam limitados pelo público em geral, uma vez que situações de trade-offs entre as categorias de impacto é muito comum. Nesse sentido, percebe-se que existe uma forte demanda por resultados de uma ACV que sejam simples, compreensíveis e claros para apoiar uma tomada de decisão (Kägi et al., 2016). Tendo isso em consideração, a SETAC organizou um Workshop³ com uma sessão específica para abordar o uso de indicadores únicos e/ou *endpoint* em estudos de ACV. As conclusões da maioria dos especialistas em ACV que participaram da sessão é de que avaliações em nível de indicador único e *endpoint* podem contribuir para uma tomada de decisão sólida e eficaz se apoiada por informações transparentes (i.e., escolha de valores). Dentre as principais razões listadas, citam-se (Kägi et al., 2016):

- Ponderações estruturadas a partir de métodos sólidos, considerando um grupo relevante de stakeholders é melhor do que deixar para terceiros (tomadores de decisão) escolherem as categorias relevantes de modo subjetivo
- Ponderações estruturadas a partir de métodos sólidos, considerando um grupo relevante de stakeholders é melhor do que tomar decisões com base em somente um indicador (e.g. pegada de carbono) que geram o risco de negligenciar indicadores importantes
- Com a necessidade cada vez maior de integração das dimensões econômicas e sociais aos resultados da ACV, a necessidade de agregação continuará aumentando

Concordando com os especialistas em ACV que participaram do Workshop da SETAC, a Comissão de Metodologia da Rede ACV solicita para que os especialistas em ACV pensem para além da ISO para que os resultados de uma ACV possam ser mais efetivos no campo da tomada de decisão, pois afinal, *"se a ACV não for capaz de fornecer respostas e apenas confundir os tomadores de*

³ SETAC Europe 25th Annual Meeting.

decisão, isso levará a uma diminuição do interesse deles na ferramenta em longo prazo” (Kägi et al., 2016).

A Comissão de Metodologia da Rede ACV entende que o uso de normalização, agrupamento e ponderação deva ser moderado e evitado ao máximo, uma vez que embora exista essa percepção de facilitar a comunicação, não existe ainda um estudo que comprove tal afirmação. Entretanto, a Comissão de Metodologia não se opõe ao uso de indicadores únicos, recomendando que:

- Quando utilizados indicadores únicos com ponderação, seja fornecida total transparência nos modelos usados para definir os pesos, no grupo de stakeholders consultados e número total de participantes, nos fatores e fontes de normalização
- Que sejam conduzidas análises de sensibilidade nos fatores de ponderação
- Que as conclusões com recomendação de ações e reivindicações de superioridade ambiental seja realizada somente a partir dos indicadores *midpoint* não normalizados

2.6 Revisão crítica

A revisão crítica é “*um processo para verificar se uma ACV satisfaz os requisitos no que diz respeito à metodologia, dados, interpretação e comunicação, e se é consistente com os princípios*” (ISO, 2006a).

Revisão crítica por especialista interno ou externo

A ISO 14044 descreve que a revisão pode ser realizada tanto por especialista interno quanto externo, desde que o revisor não tenha participado da execução do estudo (ISO, 2006b).

Analisando o conteúdo da norma, não existem menções sobre as competências do revisor, e um dos pontos discutidos pelos membros da Comissão é sobre **a falta de conhecimento técnico do produto por parte do revisor**. Deste modo, poderia implicar uma preferência por um profissional com conhecimento técnico do produto para realizar a revisão do que um profissional especialista em ACV. Esta é uma preocupação coerente uma vez que o revisor precisa conhecer o produto para verificar questões de completeza de informação e consistência de pressupostos para que estes não tenham sido definidos para favorecer os resultados de um determinado produto. Por outro lado, a ISO/TS 14071 (ISO, 2014) que provê orientações adicionais para o processo de revisão e as competências do revisor, descreve que o revisor **precisa conhecer e ter proficiência na ISO 14040 e 14044, na metodologia de ACV** e práticas atuais aplicadas pelos profissionais, dentre outras relacionadas à ACV, e sobre o conhecimento do sistema de produto, o que pode implicar em uma preferência pelo profissional especialista em ACV do que pelo profissional com conhecimento técnico do produto.

Novamente, percebe-se a subjetividade dos termos usados pela ISO quanto às competências, o que dificulta uma compreensão sobre o tipo de profissional que deva ser priorizado. Deste modo, a Comissão de Metodologia recomenda que o **profissional de ACV responsável pela revisão faça uso de guias adicionais para validar determinadas informações** (e.g. Relatórios sobre *Best Available Technologies - BAT*), avalie o processo de coleta e estimativa de dados, documentação da informação e descrição dos pressupostos, e que o especialista em ACV consulte um especialista no produto para discutir pressupostos descritos na definição de objetivo e escopo da ACV.

3 Considerações finais

A Rede ACV tem como um dos seus objetivos ser referência na aplicação e desenvolvimento da metodologia de ACV no Brasil e, para tanto, adota como estratégias a discussão e lançamento materiais que auxiliem a prática de ACV.

Este White Paper, de certa maneira, procura contribuir com a recomendação de boas práticas sobre tópicos da ISO 14044 que frequentemente são consideradas subjetivos por parte de profissionais de ACV. Deste modo, os membros da Rede foram convidados a expressarem suas principais preocupações quanto às práticas atuais de ACV confrontando com os requisitos da ISO 14044, bem como compartilhar suas experiências e discutir boas práticas para pontos considerados subjetivos. Não é intenção deste documento servir como uma norma ou como um guia que deve ser obrigatoriamente seguido pelos estudos em ACV. A norma ISO 14044 continua sendo o principal documento a ser seguido por estudos de ACV, sendo que o White Paper pode ser utilizado como um material de apoio.

A Comissão responsável pela produção do White paper, reconhece a complexidade inerente aos estudos de ACV e, por essa razão acredita que muitos dos pontos nele presentes podem evoluir naturalmente em revisões das normas ISO.

4 Referencias

Cherubini F, Strømman AH, Ulgiati S (2011) Influence of allocation methods on the environmental performance of biorefinery products—A case study. *Resour Conserv Recy*, v. 55, n. 11, p. 1070–1077.

Curran MA (2007) Studying the Effect on System Preference by Varying Coproduct Allocation in Creating Life-Cycle Inventory. *Environ Sci Technol*, v. 41, n. 20, p. 7145–7151.

Finnveden G, Hauschild MZ, Ekvall T, Guinée JB, Heijungs R, Hellweg S, Koehler A, Pennington D, Suh S (2009) Recent developments in life cycle assessment. *J Environ Manag* 91(1):1–21.

Guinée, J.B., Heijungs, R., Huppes, G., Zamagni, A., Masoni, P., Buonamici, R., Ekvall, T., Rydberg, T. (2011). Life cycle assessment: Past, present and future. *Environ Sci Technol* 45:90-96.

Heijungs R, Guinée JB (2007) Allocation and “what-if” scenarios in life cycle assessment of waste management systems. *Waste Manage*, v. 27, n. 8, p. 997– 1005.

ISO (2006a) 14040: Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework.

ISO (2006b) 14044: Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and guidelines.

ISO (2014) 14071: Environmental management – Life cycle assessment – Critical review processes and competencies: Additional requirements and guidelines to ISO 14044:2006

Kägi T, Dinkel F, Frischknecht R, Humbert S, Lindberg J, De Mester S, Ponsioen T, Sala S, Schenker UW (2016) Session “Midpoint, endpoint or single score for decision-making?”—SETAC Europe 25th Annual Meeting, May 5th, 2015. *Int J Life Cycle Assess* 21, 129–132. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0998-0>

Koffler C, Amor B, Carbajales-Dale M, Cascio J, Conroy A, Fava JÁ, Gaudreault C, Gloria T, Hensler C, Horvath A, Humbert S, Manzardo A, Margni M, Osset P, Sinistore J, Vigon B, Wallace ML, Wang M, Prox M (2020) On the reporting and review requirements of ISO 14044. *Int J Life Cycle Assess* 25, 478–482.

Moretti C, Corona B, Edwards R, Junginger M, Moro A, Rocco M, Shen L (2020) Reviewing ISO Compliant Multifunctionality Practices in Environmental Life Cycle Modeling. *Energies*, 13, 3579.

Pelletier N, Ardente F, Brandão M, De Camillis C, Pennington D (2015) Rationales for and limitations of preferred solutions for multi-functionality problems in LCA: is increased consistency possible? *Int J Life Cycle Assess*, v. 20, n. 1, p. 74–86.

Silva F, Yoshida O, Diestelkamp E, Oliveira L (2018) Relevance of including capital goods in the life cycle assessment of construction products. *R. Latino-amer. em Aval. do Ciclo de Vida, Brasília, Edição Especial*, n. 2, p. 7-22.

Weidema B (2014) Has ISO 14040/44 failed its role as a standard for life cycle assessment? *Journal of Industrial Ecology*, v18(3), p.324-326.

Tabela 1. Descrição dos requisitos da ISO 14044 considerados subjetivos, dificuldades de sua aplicação e recomendações da Rede ACV.

Fase de um estudo de ACV	Requisito ISO	Subjetividade ou dificuldade associada à aplicação	Recomendações
Definição de objetivo e escopo	Função e unidade funcional	Dificuldade em definir uma função e UF para produtos intermediários com fronteiras do berço-ao-portão	<ul style="list-style-type: none"> Justificar e citar o uso da unidade declarada como unidade de referência para os casos em que não é possível determinar uma UF
		Representar graficamente um fluxograma com todos os processos e suas correlações	
	Fronteira do sistema	Aplicar critérios de corte	<ul style="list-style-type: none"> Ilustrar até que estágio (e.g. aquisição de MP, transformação, fabricação do produto, distribuição, uso e manutenção, EoL) do ciclo de vida o produto será avaliado Detalhar por processo elementar os processos do modelo foreground Incluir no fluxograma os processos background mais relevantes Caso a cadeia upstream de um input importante não tenha sido considerada (ex. falta de dados ou datasets) ilustrar claramente como fora das fronteiras do sistema A significância ambiental deveria ser observada com relação às categorias de impacto consideradas relevantes para o sistema de produto em questão, com base na experiência do executor do estudo de ACV.
	Tipos e fontes de dados	Dados de baixa qualidade	<ul style="list-style-type: none"> Priorizar o uso de dados primários mensurados
	Requisitos de qualidade dos dados	Falta de método para avaliação dos dados frente aos requisitos de qualidade dos dados descritos pela norma	<ul style="list-style-type: none"> Utilizar métodos/procedimentos padronizados para descrever a qualidade dos dados (ex. Matriz pedigree) Utilizar métodos estatísticos para definir a amostra e a representatividade dos dados e para estimar as incertezas em estudos de elaboração de inventário nacional Respeitar o balanço de massa entre entradas e saídas Relatar de forma clara os requisitos de qualidade de dados e trazer os resultados da análise de qualidade dos dados nas conclusões
	Comparações entre sistemas	Garantir a comparabilidade dos dados dos sistemas de produto	<ul style="list-style-type: none"> Explicitar as diferenças da qualidade dos dados no relatório Incluir na declaração da revisão crítica comentários quando a diferença entre a qualidade dos dados é significativa Uso de métodos estatísticos para avaliar a incerteza dos dados, podendo ser complementados por análises de sensibilidade
	Coleta de dados	Falta de descrição detalhada dos processos elementares	<ul style="list-style-type: none"> Incluir uma descrição (qualitativa) detalhada de cada processo modelado

Análise do inventário do ciclo de vida	Procedimentos de cálculo	Falta de transparência nos cálculos realizados	<ul style="list-style-type: none"> • Fornecer informações de contato do responsável pelos dados (em caso de dados primários) • Citar as referências corretas e completas (no caso de dados secundários) • Indicar o nível de agregação dos processos para permitir comparabilidade • Citar o nome dos datasets usados na construção do modelo de ACV • Estimativa de dados com base em guidelines ou transformações nos dados com base em diferentes fontes precisam ser descritas com transparência com memoriais de cálculo • Dados que possuem influência significativa nos resultados da ACV precisam ter seus cálculos descritos com transparência
		Adaptações de dataset de bases de dados	<ul style="list-style-type: none"> • Descrever de modo transparente as adaptações realizadas em datasets existentes • Tornar explícito caso um dataset relevante não cumpra com algum dos requisitos de qualidade de dados
	Validação dos dados	Falta de procedimentos claros sobre validação de dados	<ul style="list-style-type: none"> • No caso de inventários nacionais comparar os dados utilizados com outras fontes para validação
	Procedimento de alocação (processos multifuncionais)	Falta de transparência dos critérios adotados	<ul style="list-style-type: none"> • Documentar e dar transparência aos processos multifuncionais no modelo foreground • Citar a alocação adotada nos processos background relevantes para os resultados do estudo
	Procedimento de alocação para reuso e reciclagem	Difícil aplicação da hierarquia na prática Dificuldade em garantir que os procedimentos foram aplicados de forma uniforme	<ul style="list-style-type: none"> - • Documentar e dar transparência a alocação usada no modelo foreground • Citar a alocação adotada nos processos background relevantes para os resultados do estudo
Avaliação de impacto do ciclo de vida	Seleção de categorias de Impacto, Indicadores de categoria e modelos de caracterização.	Seleção das categorias de impacto relevantes para o objetivo e escopo da ACV	<ul style="list-style-type: none"> • Considerar ou pelos menos utilizar para afirmações ou tomada de decisão categorias de impacto relevantes para o sistema de produto em estudo
	Correlação dos resultados do ICV às categorias de impacto selecionadas (classificação)	Correlação do ICV e caracterização para os resultados dos indicadores não documentados devido a uso de softwares	<ul style="list-style-type: none"> • Para fluxos ou estudos classificados e caracterizados manualmente, é preciso apresentar a documentação no relatório
	Cálculo dos resultados dos indicadores de categoria (caracterização)		<ul style="list-style-type: none"> • Para uso em software, conduzir análise que verifique a quantidade de substâncias não consideradas na AICV

	Elementos opcionais da AICV para uso em afirmações comparativas a serem divulgadas publicamente	Falta de operacionalização para avaliação de incerteza em nível de AICV Incerteza e falta de maturidade científica de alguns modelos e/ou fatores de caracterização de determinados fluxos	<ul style="list-style-type: none"> Realizar análise de sensibilidade dos métodos de AICV Para categorias reconhecidas com alta incerteza nos fatores (ex. Toxicidade humana e ecotoxicidade), realizar uma avaliação ao menos qualitativa dos indicadores e da incerteza associada aos resultados Conduzir análises de sensibilidade dos modelos de AICV
Interpretação	Verificação de completeza, sensibilidade e consistência	Dificuldade em avaliar a completeza de dados Pouca orientação concreta sob como conduzir uma verificação de sensibilidade	<ul style="list-style-type: none"> Realizar análise de sensibilidade dos procedimentos de alocação sempre que houver processos multifuncionais ou inclusão de processos de reuso e reciclagem no modelo foreground Realizar análise de sensibilidade nos métodos de AICV Realizar análise de sensibilidade em pressupostos que influenciam os resultados Realizar análise de sensibilidade em dados de baixa qualidade que influenciam de modo significativo os resultados da ACV
Comunicação	Requisitos adicionais e orientações para relatórios destinados a terceiros Requisitos adicionais para comunicação pública de afirmações comparativas	Limitação quanto ao acesso a informações confidenciais Incertezas associadas ao uso de agrupamentos	<ul style="list-style-type: none"> Diferenciar informações que podem ser divulgadas de informações que são confidenciais Informar contato para o qual o leitor pode requisitar informações adicionais quanto ao conteúdo do relatório Análise de incertezas deve ser incluída no relatório destinado a terceiros, mesmo que não seja quantitativa Descrever de modo transparente os métodos utilizados e stakeholders consultados na definição da ponderação dos indicadores Realizar análise de sensibilidade nos fatores de ponderação quanto utilizados Recomendar ações ou reivindicar superioridade de performance ambiental somente a partir de indicadores <i>midpoint</i> não normalizados
Revisão crítica	Revisão crítica por especialista interno ou externo	Conhecimento em ACV x Conhecimento técnico do sistema de produto	<ul style="list-style-type: none"> Utilizar guias adicionais para validar determinadas informações (ex. BAT) Avaliar o processo de coleta e estimativa de dados, documentação da informação e descrição dos pressupostos Consultar um especialista no produto em estudo