















ARTIGO ORIGINAL

Qualidata-manufatura: proposta de requisitos e avaliação de qualidade de conjuntos de dados de inventários de processos de manufatura

Qualidata-manufacture: proposal of requirements and quality assessment of datasets of manufacturing process inventories

Qualidata-manufacturing: propuesta de requisitos y evaluación de la calidad de conjuntos de datos de inventarios de procesos de fabricación

João Victor Encide Salla^{1,*}  
Alessandro Silveira Firmino¹  
Luiz Arthur Paluch Soares¹  
José Augusto de Oliveira²  
Virgínia Aparecida Silva Moris¹  
Yovana María Barrera Saavedra³  
Diogo Aparecido Lopes Silva¹  

¹ Grupo de Pesquisa em Engenharia da Sustentabilidade, Departamento de Engenharia de Produção de Sorocaba, Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, SP, Brasil

² Center for Advanced and Sustainable Technologies, Universidade Estadual Paulista "Júlio Mesquita Filho", São João da Boa Vista, SP, Brasil

³ Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Campus Lagoa do Sino, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, SP, Brasil

* vesjoao@estudante.ufscar.br

Recebido: 25 janeiro 2021.

Aceito: 12 agosto 2021.

Publicado: 17 agosto 2021.

Copyright: © 2021 Salla et al. Artigo publicado em acesso aberto e distribuído sob os termos da [Licença Creative Commons Atribuição](#) (CC BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos, desde que creditados os autores e a fonte original.

Financiamento: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – processo 406017/2018-2; bolsa de Iniciação Científica 371437/2020-2.

Editora:



Resumo

Nos últimos anos, destaca-se a criação do Banco Nacional de Inventários do Ciclo de Vida, o SICV Brasil, que serve de base para amparar estudos de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). No entanto, para que um conjunto de dados seja elegível no SICV Brasil, deve-se atender aos 42 requisitos mínimos do guia Qualidata. Desse modo, este artigo surge com uma proposta de se criar o Qualidata-manufatura, a partir do Qualidata original. Para tanto, duas frentes foram propostas: i) revisar seus requisitos de forma a adequá-lo especificamente para processos oriundos da manufatura; e ii) propor um indicador para se medir a qualidade de um dataset de manufatura. Para atender as duas frentes foram propostas adaptações ao Qualidata original, além disso, o Qualidata-manufatura também foi testado em 2 cases focados em processos de usinagem, e para a avaliação da qualidade dos conjuntos de dados foi utilizada a escala SERVQUAL, que correlaciona expectativas versus percepções de qualidade. Entre os resultados, foram propostos 6 requisitos, sugerida a retirada de 4 e a modificação de 14 requisitos originais, o que culminou na proposta do Qualidata-manufatura composto por 40 requisitos. Já a aplicação da SERVQUAL nos estudos de caso se mostrou eficaz para análise da qualidade dos datasets gerados. Os resultados deste estudo contribuem para avanços na área de inventários do ciclo de vida de processos, e o Qualidata-manufatura poderia ser utilizado como material suplementar ao Qualidata original, além da possibilidade de

SERVQUAL ser adotada para avaliação da qualidade de novos datasets submetidos ao SICV Brasil.

Palavras-chave: SERVQUAL. Qualidade. Inventário do Ciclo de Vida. Processos fabris.

Resumen

En los últimos años se destaca la creación del Banco Nacional de Inventarios del Ciclo de Vida, el SICV Brasil, que sirve de base para sustentar los estudios de Análisis del Ciclo de Vida (ACV). Sin embargo, para que un conjunto de datos sea elegible, se debe cumplir con los 42 requisitos mínimos de la guía Qualidata del SICV Brasil. Así, este artículo presenta una propuesta para crear el Qualidata-manufatura, a partir del Qualidata original. Para ello, se propusieron dos frentes: i) revisar sus requisitos para adecuarlas específicamente a los procesos originados en la fabricación; y ii) proponer un indicador para medir la calidad de un conjunto de datos. Para atender los dos frentes, se propusieron adaptaciones a la Qualidata original, además, también se probó Qualidata-manufatura en 2 casos enfocados a procesos de mecanizado y para evaluar la calidad de los conjuntos de datos se utilizó la escala SERVQUAL, que correlaciona expectativas versus percepciones de calidad. Entre los resultados, se propusieron 6 requisitos, la eliminación de 4 requisitos y la modificación de 14 requisitos, que culminó en la propuesta Qualidata-manufatura, que comprende 40 requisitos. Por otro lado, la aplicación de SERVQUAL en los estudios de caso mostró la efectividad de la métrica para analizar la calidad de los conjuntos de datos. Los resultados de este estudio contribuyen a los avances en el área de los inventarios del ciclo de vida de los procesos, y Qualidata-manufatura podría utilizarse como material complementario al Qualidata original, además de la posibilidad de adoptar SERVQUAL para evaluar la calidad de los nuevos conjuntos de datos presentados a la SICV Brasil.

Palabras clave: SERVQUAL. Calidad. Inventario de Ciclo de Vida. Procesos de manufactura.

Abstract

In recent years, stands out the creation of the National Life Cycle Inventory Database – ‘SICV Brasil’, which serves as a baseline to support Life Cycle Assessment (LCA) studies. However, a dataset to be eligible at the ‘SICV Brasil’ database, it must meet the 42 minimum requirements of the Qualidata guide. Thus, this article proposals to create the Qualidata-manufacture based on the original Qualidata guide. For this, two activities were developed: i) revise the originals Qualidata requirements in order to adapt them to the manufacturing shop-floor reality; and ii) propose an indicator to measure the quality of a dataset. On this sense, adaptations to the original Qualidata were proposed, and 2 case studies were tested with a focus on machining processes. To evaluate the quality of the generated datasets, the SERVQUAL indicator was used, which correlates expectations versus perceptions of quality. Among the results, 6 requirements were proposed, 4 requirements were removed, and 14 requirements were modified, resulting in 40 requirements in the Qualidata-manufacture guide. The application of SERVQUAL in the case studies, on the other hand, showed the effectiveness of this indicator to properly analyze the quality of the developed datasets. The results of this study contribute to advances in the area of unit process manufacturing life cycle inventories, and the Qualidata-manufacture could be used as a supplementary material to the original Qualidata, and we suggest to adopt the SERVQUAL indicator as a reference to assess the quality of new datasets submitted to the ‘SICV Brasil’ database.

Keywords: SERVQUAL. Quality. Life Cycle Inventory. Manufacturing processes.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a *Sustainable Manufacturing Initiative* (2011), a indústria em países desenvolvidos tem crescido a uma taxa média de 0,8% ao ano; e emprega aproximadamente 660 milhões de pessoas no mundo (ILO, 2011). Porém, a indústria também gera diversos impactos negativos sobre o meio ambiente.

De forma a diminuir os diversos impactos ambientais ocasionados nos processos industriais, ressalta-se a manufatura verde (ou *green manufacturing*), em que se emprega a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para a análise de processos produtivos. Na *green manufacturing*, a etapa de manufatura é vista como a etapa central ao longo de todas as etapas do ciclo de vida de um produto, pois as decisões com maior inércia sobre o meio ambiente são definidas ainda na fase de manufatura (SILVA, OMETTO, SILVA 2016). Por exemplo, os materiais e processos que serão empregados para a fabricação dos produtos, as características de desempenho dos produtos durante sua fase de uso (ex: vida útil), bem como as estratégias mais indicadas para o final de vida dos produtos no pós-uso, são todas definidas ainda na fase de projeto do produto (DORNFELD 2013; SILVA et al. 2020).

Assim, além da importância socioeconômica do setor de manufatura para qualquer economia, os Inventários do Ciclo de Vida (ICV) com foco nos processos de manufatura são importantes, pois apresentam informações relevantes para todo o ciclo de vida de um produto. Também, os inventários de processos de fabricação são relativamente mais baratos e fáceis de serem produzidos do que um inventário completo *cradle-to-grave* ou *cradle-to-gate* (DUFLOU, SUTHERLAND, DORNFELD, HERMANN, JESWIET, HAUSCHILD, KELLENS 2012; THORN, KRAUS, PARKER 2011).

Inventários de processos também apresentam maior potencial de uso, por diferentes partes interessadas, numa ACV (FILLETI, LOPES SILVA, OMETTO 2017; SILVA et al. 2018). Por exemplo, um inventário de um processo de prensagem poderá servir tanto para um estudo de ACV numa indústria metalmeccânica para se prensar chapas de aço, quanto para um estudo feito numa indústria química, em que uma prensa é requerida para a consolidação de um material polimérico até que se atinja certa espessura. Portanto, inventários de processos de fabricação são versáteis, e podem ser adaptados para diferentes usos e em diferentes setores, o que justifica a necessidade de se desenvolver mais inventários de processos de fabricação para amparar estudos de ACV. Inclusive, alguns bancos de dados de ACV já apresentam bases específicas sobre o assunto, tais como o GaBi em sua extensão *manufacture processes*, e a própria base de dados doecoinvent, ambos disponibilizando informações para dezenas de processos, principalmente para processos de usinagem, injeção, estampagem e montagem de produtos, peças e componentes diversos (FIRMINO 2020).

Um *dataset* é um conjunto de dados com todas as informações de ICV e metadados (informações descritivas, de escopo de um inventário) para a quantificação e qualificação de um produto, processo ou serviço dentro de uma base de dados (SILVA, MASONI 2016). A base de dados atua como uma biblioteca virtual, na qual, *datasets* são agrupados e disponibilizados ao público, sendo fontes essenciais para a retirada de dados para uso em estudos de ACV, e até para outros fins envolvendo a gestão da produção (ex: gestão verde da cadeia de suprimentos

e ecodesign) ou mesmo outras aplicações na gestão ambiental (ex: rotulagem ambiental, auditorias ambientais).

Desse modo, no Brasil, em 2016, foi criado o SICV Brasil (Banco Nacional de Inventários de Ciclo de Vida), que é um banco de dados de acesso aberto para o fomento da ACV no país (SOUZA et al. 2020). Atualmente, conta com pouco mais de 20 *datasets* e necessita de maiores esforços para que mais *datasets* continuem sendo gerados e submetidos, o que motivou a presente pesquisa.

Objetivando garantir a completeza com relação aos dados dos *datasets* submetidos à plataforma do SICV Brasil, surgiu o guia Qualidata, também no ano de 2016. O Qualidata foi lançado objetivando ser uma ferramenta para adequação de dados, na qual o provedor dos dados (autor do *dataset* ou *data provider*) precisa garantir que seu *dataset* atinja os requisitos mínimos necessários para submissão ao SICV Brasil (RODRIGUES et al. 2016).

Por fim, mas não menos importante, mais iniciativas têm sido realizadas visando a avaliação de qualidade de *datasets* em ACV. Por exemplo, Citroth et al. (2020) propuseram um conjunto de critérios para aplicação durante a revisão de *datasets* relacionados a completeza de requisitos que contemplam desde a definição de objetivo e escopo, a conformidade de dados e dos procedimentos de amostragem, o processo de tratamento de dados, até a avaliação dos metadados. Já EC/JRC/IES (2010) propuseram o indicador DQR (*overall Data Quality Rating*) para se pontuar a qualidade de *datasets* (quanto maior o DQR, melhor a qualidade do *dataset*), a partir da especificação de requisitos relacionados à representatividade tecnológica, temporal, geográfica, metodológica e de precisão dos dados fornecidos. Todavia, a avaliação de qualidade carece de subjetividade na análise, pois o resultado é dependente de quem foi o avaliador (*reviewer*) do *dataset*, assim, uma forma de se mitigar tal problema pode ser através do emprego de abordagens combinatórias, que incluam tanto a avaliação externa de *reviewers* especializados na temática, quanto às informações de qualidade relevantes informadas pelo próprio *data provider*, a partir de uma autoavaliação prévia. Tal abordagem foi proposta por Parasuraman, Zeithaml e Berry (1985), e é conhecida na área de Gestão de Serviços como escala SERVQUAL, mas ainda é pouco explorada na ACV.

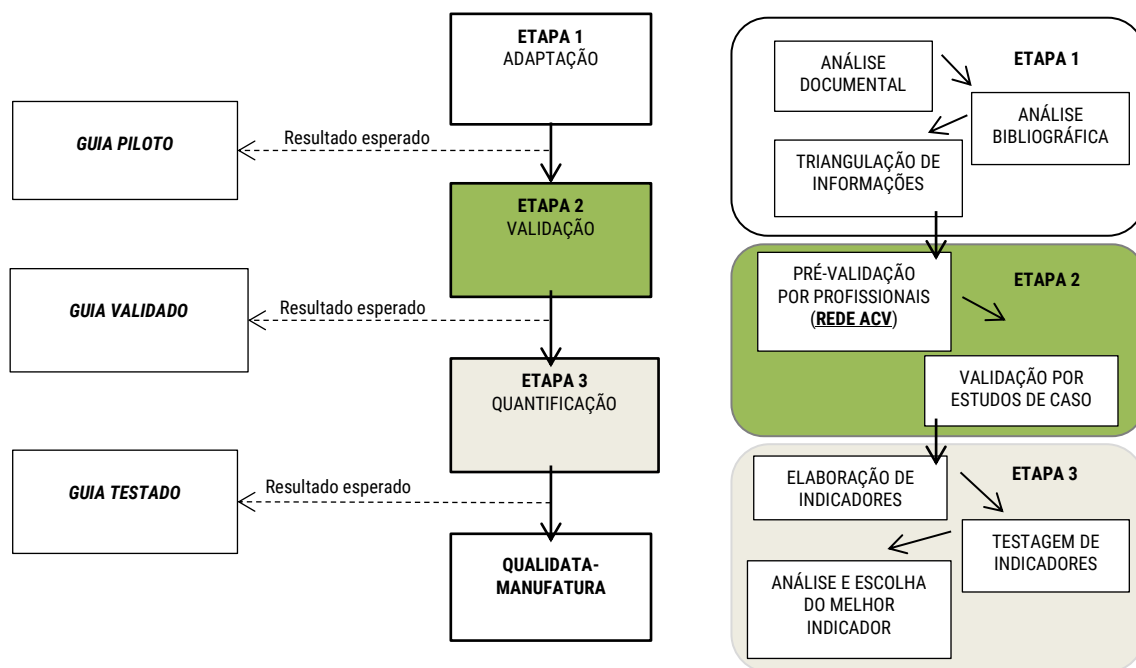
Sendo assim, o presente trabalho analisou de forma crítica o guia Qualidata (que em primeira instância, seria aplicado para todos os tipos de *datasets*) com o intuito de: i) propor uma possível adaptação ao guia original de modo a atender melhor ao contexto dos processos de manufatura (Qualidata-manufatura), caracterizados por abordagens do tipo *gate-to-gate* em sua essência, e que segundo (MACCARTHY, FERNANDES 2000) envolvem diversas particularidades, tais como: diferentes níveis de automatização e parâmetros de fabricação;

e ii) testar a aplicabilidade da escala SERVQUAL como possível ferramenta para a avaliação da qualidade de *datasets* gerados para publicação no SICV Brasil.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa realizada pode ser classificada como de natureza exploratória, quali-quantitativa, e o procedimento metodológico principal foi a pesquisa documental e bibliográfica, seguida da realização de estudos de caso. Assim, a pesquisa, foi dividida em três etapas: etapa de adaptação, etapa de validação, e etapa de quantificação (ou teste), conforme a Figura 1.

Figura 1. Escopo avaliado e cenários de fim de vida avaliados no estudo.



Fonte: elaboração própria.

2.1. Etapa 1: Adaptação

A primeira etapa consistiu na adaptação do guia Qualidata original de Rodrigues et al. (2016), de forma a atender especificamente aos *datasets* que contemplem processos fabris. Essa etapa foi dividida em três fases: análise documental, estudos bibliográficos e triangulação de informações.

A primeira fase fundou-se em um estudo documental a respeito do guia Qualidata, seguido, por uma análise crítica de seus 42 requisitos, divididos entre: obrigatórios, recomendados e opcionais quanto as prioridades. A segunda fase, por sua vez, baseou-se em um estudo bibliográfico aprofundado a respeito do potencial de aplicação da metodologia UPLCI (*Unit Process Life Cycle Inventory*), desenvolvida por Kellens et al. (2012a, b). Para tanto, foram realizadas buscas a respeito da aplicação da metodologia UPLCI em estudos de casos diversos

em indústrias de manufatura nos últimos anos. Em seguida, ocorreu à listagem de fatores/requisitos que seriam imprescindíveis para se analisar *datasets* de processos fabris, os quais seriam importantes de serem considerados visando à proposta do Qualidata-manufatura.

Durante a terceira fase, ocorreu a triangulação de dados. Na qual, novos requisitos foram adicionados ao guia Qualidata, e outros foram adaptados ou até mesmo removidos. Basicamente, os novos requisitos foram adicionados após a revisão de acordo com a metodologia UPLCI e outras publicações correlatas; requisitos que se referenciavam a qualidade de *datasets* de forma mais geral, foram mantidos e alguns foram removidos ou apenas modificados de modo a atender com maior representatividade os processos realizados por máquinas/ferramentas/equipamentos em operações fabris.

Após a triangulação dos dados, ocorreu a elaboração da versão piloto do guia Qualidata-manufatura, que seguiu para a segunda etapa, a validação.

2.2. Etapa 2: Validação

A segunda etapa referente ao processo de validação do guia adaptado, foi dividida em 2 fases: pré-validação por profissionais e a validação por meio de estudos de caso. A pré-validação fundamentou-se na validação do guia piloto através de uma consulta a especialistas no tema de ACV e processos de fabricação, incluindo representantes gestores do banco de dados SICV Brasil. Desse modo, a versão piloto do guia foi enviada a quatro especialistas no assunto, membros da Rede Empresarial Brasileira de ACV (Rede ACV), usando um questionário de modo a cobrir as seguintes perguntas:

- a) O guia Qualidata-manufatura é claro em seus requisitos?
- b) Todas as questões significativas foram devidamente abordadas, tendo em vista o contexto proposto para o Qualidata-manufatura?
- c) Quais outros requisitos necessitam ser incluídos ou removidos do Qualidata-manufatura?

Após realizar ajustes na pré-validação, a segunda fase, respaldou-se em dois estudos de caso, aplicados em contextos reais em 02 indústrias distintas situadas na região de Sorocaba/SP. Durante os estudos de caso, foi aplicado o *template* do Qualidata-manufatura em dois processos fabris distintos, que objetivou analisar a eficiência e facilidade de seu preenchimento durante o processo de construção de *datasets* de manufatura, bem como a posterior análise da qualidade dos *datasets* gerados (a ser descrito na Etapa 3).

Ambos os estudos de caso avaliados, são referentes a processos de usinagem, o primeiro, ocorreu em dois centros de usinagem (FIRMINO 2020), e o segundo, ocorreu na usinagem de engrenagens automotivas, conforme o Quadro 1.

Quadro 1. Descritivo dos processos de manufatura estudados.

| Estudos de caso | Características | | | | | | |
|-------------------------|---|--|--------------|--------------------------|---------------------------------------|--------------------|--------------------------------|
| | Título | Processo | Local | Abordagem UPLCI | Equipamentos utilizados | Nível de automação | Produto ao final |
| Estudo de Caso 1 | <i>Green Manufacturing</i> : Avaliação do ciclo de vida de processos de usinagem de tubos de alumínio | Usinagem (englobou os processos de fresamento, mandrilhamento, furação e roscamento) | Iperó, SP | <i>In depth approach</i> | Centros de usinagem | Alta automação | Tubos de alumínio usinados |
| Estudo de Caso 2 | - | Usinagem (Fresamento) | Sorocaba, SP | <i>In depth approach</i> | Fresadora de engrenagens, modelo S300 | Alta automação | Engrenagem com dentes fresados |

Fonte: elaboração própria.

2.3. Etapa 3: Quantificação

A terceira etapa, por sua vez, relaciona-se à interpretação dos resultados após o teste do guia Qualidata-manufatura nos dois estudos de caso previamente descritos. Para tanto, a qualidade foi medida utilizando-se indicadores específicos calculados com base na Equação 1, que representa a escala SERVQUAL proposta por Parasuraman, Zeithaml e Berry (1985). Já a Tabela 2 mostra como a escala SERVQUAL foi empregada para a avaliação dos requisitos de qualidade no Qualidata-manufatura:

Equação (1)

$$SERVQUAL = \sum SF_{Expectativa\ de\ Qualidade} - \sum SF_{Percepção\ de\ Qualidade}$$

Sendo SF, a soma final dos pontos de expectativas e de percepção de qualidade de cada *dataset* avaliado segundo os requisitos do Quadro 2, e detalhados no Apêndice I¹.

¹ <http://lalca.acv.ibict.br/lalca/article/view/5539/5340>

Quadro 2. Proposta de requisitos para a avaliação de qualidade de *datasets*.

| Requisitos | Avaliação de qualidade | |
|-----------------------------------|---|---|
| | EXPECTATIVAS | PERCEPÇÃO |
| Requisitos gerais | Requisitos de 1 a 10 do Qualidata-manufatura de acordo com a autoavaliação do <i>data provider</i> . | Requisitos de 1 a 10 do Qualidata-manufatura de acordo com a avaliação do revisor externo. |
| Requisitos de Métodos e Processos | Requisitos de 11 a 25 do Qualidata-manufatura de acordo com a autoavaliação do <i>data provider</i> . | Requisitos de 11 a 25 do Qualidata-manufatura de acordo com a avaliação do revisor externo. |
| Requisitos de Fluxo | Requisitos de 26 a 38 do Qualidata-manufatura de acordo com a autoavaliação do <i>data provider</i> . | Requisitos de 26 a 38 do Qualidata-manufatura de acordo com a avaliação do revisor externo. |
| Requisitos de Revisão | Requisitos 39 e 40 do Qualidata-manufatura de acordo com a autoavaliação do <i>data provider</i> . | Requisitos 39 e 40 do Qualidata-manufatura de acordo com a avaliação do revisor externo. |

Fonte: elaboração própria.

Para a aplicação da Equação 1, quatro possíveis indicadores de avaliação foram testados, conforme detalhamento na seção 2.3.1. Ao final, somaram-se os pontos de Expectativa de Qualidade e os pontos de Percepção de Qualidade, para então ser aplicada a Equação 1.

Desse modo, cada estudo de caso foi testado para cada um dos quatro indicadores de avaliação de modo a analisar os preenchimentos por parte dos autores de cada estudo de caso (*data providers*), representando a Expectativa de Qualidade, e que combinada com a avaliação feita pelos revisores externos (especialistas), sendo esta a Percepção de Qualidade, no final do processo forneceu o resultado da escala SERVQUAL.

Por fim, uma análise comparativa foi feita ao final do processo para se comparar os resultados de cada indicador de avaliação de qualidade baseado na escala SERVQUAL. O Quadro 3 resume a classificação geral que um *dataset* avaliado poderá apresentar ao término da avaliação de qualidade:

Quadro 3. Descritivo dos processos de manufatura estudados.

| Resultado do SERVQUAL (Equação 1) | Classificação de qualidade do <i>dataset</i> |
|-----------------------------------|---|
| SERVQUAL > 0 | <i>Dataset</i> com qualidade superestimada |
| SERVQUAL < 0 | <i>Dataset</i> com qualidade subestimada |
| SERVQUAL = 0 | Percepção de Qualidade = Expectativa de Qualidade do <i>dataset</i> |

Fonte: elaboração própria.

Pelo Quadro 3, após o cálculo do SERVQUAL, se $SERVQUAL > 0$, significa que há requisitos com qualidade superestimada (expectativa superior a percepção), logo, esses representarão os requisitos a serem melhorados no *dataset* em questão, antes de sua publicação no SICV Brasil. Se $SERVQUAL < 0$, significa que a autoavaliação subestimou a qualidade de certos requisitos, pois na avaliação por especialistas (percepção de qualidade), os resultados seriam superiores aos inicialmente previstos, logo, não representará um problema de qualidade no

dataset. E, se $SERVQUAL = 0$, não há perda/ganho de qualidade, pois a qualidade percebida representará exatamente a expectativa de qualidade inicial do *dataset*.

É importante ressaltar que analogamente ao que propõe o indicador DQR (EC/JRC/IES 2010), largamente conhecido e utilizado na área da ACV, a escala $SERVQUAL$ também pode fornecer um valor único atribuído ao processo de avaliação de qualidade, a partir do resultado da subtração das expectativas menos as percepções de qualidade do *dataset* avaliado (rever Equação 1). Porém, um diferencial da escala $SERVQUAL$, é que ela inclui no processo avaliativo também informações de autoavaliação fornecidas pelo próprio *data provider*, que são essas conforme Citroth et al. (2020) de grande valia para melhor subsidiar revisões externas por especialistas em ACV.

2.3.1 Indicadores de avaliação de qualidade de datasets

Por fins de simplicidade, os indicadores foram chamados de: *Classif_1*, *Classif_2*, *Classif_3* e *Classif_4*, classificados de acordo com o Quadro 4.

A priori, ressalta-se que esses métodos avaliativos objetivam analisar a qualidade dos *datasets* correlacionados ao cumprimento ou não dos requisitos do guia Qualidata-manufatura. Afinal, a contabilização das pontuações a serem utilizadas no cálculo do $SERVQUAL$ poderia ocorrer de diversas formas, por exemplo, incluindo ou não fatores de ponderação para certos requisitos ou grupo de requisitos do guia.

Para os indicadores nomeados *Classif_1* e *Classif_2*, todos os requisitos presentes no Qualidata-manufatura possuem a mesma ponderação matemática com relação às obrigatoriedades das informações a serem fornecidas, havendo, apenas, uma diferença de peso relacionada ao: não atendimento, peso 1; atendimento parcial, peso 3; e atendimento total, retornando 5 à soma final (SF), conforme a Equação 2.

Equação (2)

$$SF(1, 2) = \Sigma((ra * 5) + (rp * 3) + (rn * 1))$$

Sendo requisito atendido (ra), requisito atendido parcialmente ou atendido de forma incompleta (rp) e requisito não atendido (rn).

Os indicadores *Classif_3* e *Classif_4* foram pensados de modo que fossem ponderados também com relação às necessidades de cada requisito. A *Classif_3*, a princípio, apresenta mesma pontuação das duas anteriores relacionadas quanto ao cumprimento dos requisitos (não atende, atende parcialmente e atende), no entanto, aqui há ponderação dos requisitos quanto as suas prioridades, tendo: requisitos obrigatórios, peso 3; requisitos recomendados, peso 2; e requisitos opcionais, peso 1, conforme a Equação 3 e suas derivações 3.1 a 3.3.

Equação (3)

$$\mathbf{SF(3)} = \Sigma(\mathbf{RO} + \mathbf{RR} + \mathbf{RP})$$

Equação (3.1)

$$\mathbf{RO} = \Sigma((\mathbf{ra} * 5) + (\mathbf{rp} * 3) + (\mathbf{rn} * 1)) * 3$$

Equação (3.2)

$$\mathbf{RR} = \Sigma((\mathbf{ra} * 5) + (\mathbf{rp} * 3) + (\mathbf{rn} * 1)) * 2$$

Equação (3.3)

$$\mathbf{RP} = \Sigma((\mathbf{ra} * 5) + (\mathbf{rp} * 3) + (\mathbf{rn} * 1)) * 1$$

Sendo requisito obrigatório (RO), requisito recomendado (RR) e requisito opcional (RP).

As *Classif_1*, *Classif_2* e *Classif_3* podem se tornar falhas ao utilizar equações automatizadas em planilhas, sendo necessário cuidado ao preenchimento dos requisitos e no cálculo das pontuações. Assim, segundo a *Classif_3*, ainda que um requisito obrigatório (peso 3) não seja atendido, e seja atendido no seu lugar um requisito recomendado e um opcional (peso 2 + peso 1), o *dataset* poderá receber uma mesma pontuação final, tendo assim, uma mesma classificação final, o que acaba violando a relação de atendimento dos requisitos mínimos a serem atendidos para submissão de um *dataset* ao SICV, que seriam o pleno atendimento, pelo menos, dos requisitos obrigatórios.

De modo a dirimir essas incertezas, foi proposta a *Classif_4*, a qual pondera as necessidades de cada requisito (obrigatórios, recomendados e opcionais) de forma a não gerar incongruências na classificação. Assim, há uma ponderação de peso 7, aos requisitos obrigatórios; 1, aos requisitos recomendados; e 1/2, aos requisitos opcionais, conforme a Equação 4, e suas derivativas 4.1 a 4.3.

Equação (4)

$$\mathbf{SF(4)} = \Sigma(\mathbf{RO} + \mathbf{RR} + \mathbf{RP})$$

Equação (4.1)

$$\mathbf{RO} = \Sigma((\mathbf{ra} * 5) + (\mathbf{rp} * 3) + (\mathbf{rn} * 1)) * 7$$

Equação (4.2)

$$\mathbf{RR} = \Sigma((\mathbf{ra} * 5) + (\mathbf{rp} * 3) + (\mathbf{rn} * 1)) * 1$$

Equação (4.3)

$$\mathbf{RP} = \Sigma((\mathbf{ra} * 5) + (\mathbf{rp} * 3) + (\mathbf{rn} * 1)) * 1/2$$

Dessa forma, *datasets* que não atenderem sequer um requisito obrigatório, classificar-se-ão como de baixa qualidade, pois não apresentou no caso, o mínimo necessário que precisaria ser atendido para publicação no SICV Brasil.

O Quadro 4 relaciona os quatro indicadores propostos às suas classificações finais, quanto à qualificação de um *dataset* avaliado, dependendo do SF obtido com o atendimento ou não dos requisitos na avaliação da Percepção de Qualidade (revisor externo).

Quadro 4. Os quatro indicadores e suas possíveis classificações na Percepção de Qualidade.

| Indicadores | SF máximo | Intervalo do S.F. | Classificação | Descrição |
|-------------|-----------|---|------------------|--|
| Classif_1 | 200 | $200 \geq SF$ Percepção de Qualidade ≥ 160 | Alta Qualidade | 80% ou mais dos requisitos no geral atendidos. |
| | | $160 > SF$ Percepção de Qualidade ≥ 120 | Básica Qualidade | Entre 80% e 60% dos requisitos no geral atendidos. |
| | | SF Percepção de Qualidade < 120 | Baixa Qualidade | Menos que 60% dos requisitos no geral atendidos. |
| Classif_2 | 200 | $200 \geq SF$ Percepção de Qualidade ≥ 192 | Alta Qualidade | Pelo menos 100% dos requisitos Obrigatórios e Recomendados. |
| | | $192 > SF$ Percepção de Qualidade ≥ 168 | Básica Qualidade | Não atende ao menos um requisito Recomendado até não atender nenhum requisito Recomendado. |
| | | SF Percepção de Qualidade < 168 | Baixa Qualidade | Não atende nenhum requisito Recomendado e nem ao menos um Obrigatório. |
| Classif_3 | 550 | $550 \geq SF$ Percepção de Qualidade ≥ 542 | Alta Qualidade | Pelo menos 100% dos requisitos Obrigatórios e Recomendados. |
| | | $542 > SF$ Percepção de Qualidade ≥ 494 | Básica Qualidade | Não atende ao menos um requisito Recomendado até não atender nenhum requisito Recomendado. |
| | | SF Percepção de Qualidade < 494 | Baixa Qualidade | Não atende nenhum requisito Recomendado e nem ao menos um Obrigatório. |
| Classif_4 | 1155 | $1155 \geq SF$ Percepção de Qualidade ≥ 1151 | Alta Qualidade | Pelo menos 100% dos requisitos Obrigatórios e Recomendados. |
| | | $1151 > SF$ Percepção de Qualidade ≥ 1123 | Básica Qualidade | Não atende ao menos um requisito Recomendado até não atender um Obrigatório. |
| | | SF Percepção de Qualidade < 1123 | Baixa Qualidade | Não atende ao menos um requisito obrigatório. |

Fonte: elaboração própria.

Cabe destacar, que o cálculo de SF também deve ser realizado para as Expectativas de Qualidade, utilizando a mesma escala do Quadro 4, contudo, para efeito da classificação de um *dataset* em baixa qualidade, qualidade básica ou alta qualidade, deve-se levar em conta apenas os resultados da Percepção de Qualidade. Também, os requisitos de natureza opcional só entram nas contas dos indicadores de classificação como limitantes superiores do SF_{Percepção de Qualidade}, ou seja, não representam aspectos relevantes para se classificar um *dataset* como de baixa qualidade, por exemplo.

Por fim, correlacionando então os Quadros 3 e 4, há algumas situações para a classificação final dos *datasets*:

- a) **Situação desejada:** $SERVQUAL < 0$ ou $= 0$, e resultados do somatório de $SF_{\text{Percepção de Qualidade}}$ igual ao SF máximo da Tabela 4, para quaisquer das classificações *Classif_1*, *Classif_2*, *Classif_3*, ou *Classif_4*, garantindo assim *datasets* com **alta qualidade**;
 - *Datasets* com esta classificação final podem ser aceitos para publicação no SICV Brasil.
- b) **Situações intermediárias:** $SERVQUAL < 0$ ou $= 0$, e resultados de $SF_{\text{Percepção de Qualidade}}$ equivalentes a classificação de *datasets* com **qualidade básica**, para quaisquer das classificações *Classif_1*, *Classif_2*, *Classif_3*, ou *Classif_4*;
 - *Datasets* com esta classificação final podem ser aceitos para publicação no SICV Brasil, após análise crítica sobre a necessidade de melhoria para os requisitos eventualmente não ou apenas parcialmente contemplados.
- c) **Situação não desejada:** $SERVQUAL > 0$ e/ou resultados de $SF_{\text{Percepção de Qualidade}}$ equivalentes a classificação de *datasets* com **baixa qualidade**, para quaisquer das classificações *Classif_1*, *Classif_2*, *Classif_3*, ou *Classif_4*.
 - *Datasets* com esta classificação não devem ser aceitos. Melhorias substanciais precisam ser realizadas para os requisitos com classificação de Expectativa de Qualidade superior à sua Percepção de Qualidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aqui são apresentados todos os resultados obtidos, sendo na seção 3.1 expostos os resultados da proposta do Qualidata-manufatura, e a seção 3.2 apresentados os resultados sobre os estudos de caso para aplicação e análise da qualidade dos *cases* avaliados.

3.1. Adaptação do guia Qualidata

Durante a primeira etapa, realizou-se o processo de adaptação do guia Qualidata original a fim de atender especificamente inventários de processos fabris. Desse modo, o Quadro 5, referencia-se a exposição matricial de todas as adaptações feitas ao guia original, para a proposta do Qualidata-manufatura.

Sendo os requisitos em cor azul, os mantidos do Qualidata original; os requisitos em cor laranja, os modificados de forma a atender com maior adequação aos processos de manufatura; os requisitos em vermelho, representam os retirados do guia original para a criação do Qualidata-manufatura; e os requisitos em verde com numerais romanos, os novos requisitos incluídos durante o processo de adaptação do guia.

Uma versão digital do Qualidata-manufatura com todos os 40 requisitos organizados encontra-se disponível como Material Suplementar no Apêndice I.

Quadro 5. Desenvolvimento do Qualidata-manufatura.

| Tipo | Número | Requisitos | Descrição para os requisitos modificados e os novos incluídos no guia | Prioridade | | |
|-----------------------------------|--------|---|---|------------|-------------|-------------|
| | | | | Opcional | Recomendado | Obrigatório |
| Requisitos Gerais | 1 | O conjunto de dados está em inglês? | | | | X |
| | 2 | A identificação do conjunto de dados segue o padrão Nome do produto_tecnologia_outra especificação? | O nome do <i>dataset</i> deve seguir a nomenclatura em questão, exemplo: Retificação_Inconel751_cilindricaexterna (Processo/ferramenta_produto/matéria-prima_outra especificação) | | | X |
| | 3 | As citações e referências estão completas? | | | | X |
| | 4 | Os campos de administração são informados? | | | | X |
| | 5 | É informada a cobertura temporal do conjunto de dados? | | | | X |
| | 6 | É informado o período de validade do conjunto de dados? | | X | | |
| | 7 | A cobertura tecnológica é informada? | | | | X |
| | 8 | A descrição da tecnologia é apresentada? | A descrição dos processos elementares primários deve ser realizada de tal modo que contenha as informações mínimas para distinguir as tecnologias existentes, seguindo a metodologia UPCLI. Vale ressaltar a necessidade de descrever de forma breve como ocorre o processo, citar o modelo e ano da máquina/ferramenta, descrever os modos de operação da máquina/ferramenta e suas subunidades. | | | X |
| | 9 | A cobertura geográfica é informada? | | | | X |
| | 10 | É informada a representatividade do conjunto de dados? | Deve-se informar a representatividade do conjunto de dados em termos da produção em nível nacional. Seria a representatividade do processo quando comparado a outros processos semelhantes que ocorrem em outras empresas no país, estado ou região. | | | X |
| Requisitos de Métodos e Processos | 11 | É Informada a abordagem utilizada? | Visto que se trata de uma abordagem atribucional por definição, informar se foi utilizada a abordagem <i>Screening</i> ou a <i>In Depth approach</i> da metodologia UPLCI. | | | X |
| | 12 | Foi aplicado critério de corte? Se sim, qual foi o critério utilizado? | | | | X |
| | 13 | Houve agregação dos dados? Qual o nível de agregação utilizado? | | | | X |
| | 14 | O fluxograma do sistema do produto foi apresentado, incluindo as fronteiras do conjunto de dados? | O Fluxograma do sistema de produto deve seguir o modelo proposto pelo UPCLI, com as fronteiras do sistema delimitadas | | | X |

| Tipo | Número | Requisitos | Descrição para os requisitos modificados e os novos incluídos no guia | Prioridade | | |
|----------------------|--------|--|--|------------|-------------|-------------|
| | | | | Opcional | Recomendado | Obrigatório |
| | 15 | As conexões dos fluxos intermediários com os processos elementares secundários foram apresentadas? | e as respectivas entradas e saídas para a tecnosfera e ecosfera identificadas. | | | X |
| | 16 | O conjunto de dados representa um sistema multifuncional? Se sim, como lidou com a multifuncionalidade? | | | | X |
| | 17 | Foi considerado o uso da terra (ocupação e transformação)? Se sim, qual foi o método utilizado para transformação do uso da terra? | | | X | X |
| | 18 | Os dados foram validados de alguma forma? Qual foi o método utilizado? | | | | X |
| | 19 | Se o balanço de massa foi realizado, quanto foi fechado nos processos elementares primários? (0 a 100%) | Deve-se informar se houve ou não a realização dos balanços de massa, energia e água. Em casos afirmativos, informar as porcentagens obtidas nos processos. Por se tratar de processos de manufatura, há especificidades e, desse modo, podem focar em apenas um dos balanços para análise. | | | X |
| | 20 | Se o balanço de água foi realizado, quanto foi fechado nos processos elementares primários? (0 a 100%) | | | | X |
| | 21 | Se o balanço de energia foi realizado, quanto foi fechado nos processos elementares primários? (0 a 100%) | | | | X |
| | 22 | Foi adotado algum método para analisar a qualidade dos dados? Se sim, qual? | | | | X |
| | 23 | Os bens de capital foram incluídos? | Informar se foram incluídos ou não, os bens de capital do processo de manufatura. Em casos afirmativos, deve-se levar em conta o tempo de uso das máquinas/ferramentas. | | | X |
| Requisitos de Fluxos | 24 | A identificação dos fluxos seguiu o padrão definido no guia? Em caso negativo, adequar. | | | | X |
| | 25 | O fluxo de referência foi informado? | O fluxo de referência do processo em questão seguiu o UPCLI?. Segundo o qual leva em conta um 1s de processamento da máquina/ferramenta em questão para dada quantidade de matéria-prima. Em caso negativo, adequar ou fornecer o fluxo de referência levado em consideração. | | | X |
| | 26 | As unidades estão no Sistema Internacional (SI)? Se não, descrever as possíveis relações com as unidades do SI. | | | | X |
| | 27 | Cada fluxo tecnológico está especificado por região? | | | | X |
| | 28 | São informados os compartimentos e subcompartimentos? | Classificar os fluxos tecnológicos e elementares conforme suas subunidades e modos de operação. Ex: Óleo lubrificante (Unidade Hidráulica, usado no modo <i>Full Load</i>). | | | X |
| | 29 | Há informação da origem e destino dos fluxos de água? | | | X | |
| | 30 | Os materiais particulados foram separados em frações? | | | X | |
| | 31 | Os compostos orgânicos voláteis (COV) foram discriminados? | As emissões de COV devem preferencialmente ser discriminadas em CH ₄ e COVNM (compostos orgânicos voláteis não metano). | | X | |

| Tipo | Número | Requisitos | Descrição para os requisitos modificados e os novos incluídos no guia | Prioridade | | |
|----------------------------|---------|---|--|---|-------------|--------------------------|
| | | | | Opcional | Recomendado | Obrigatório |
| | 32 | Os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH) foram discriminados? | As emissões de benzo(a)pirenos devem ser discriminadas das de HAP (hidrocarbonetos aromáticos policíclicos). | | X | |
| | 33 | As dioxinas e furanos foram discriminados? | | | X | |
| | 34 | As fontes de CO2 e CH4 foram discriminadas? | | | | X |
| | 35 | As emissões de longo prazo foram informadas? | | X | | |
| | 36 | As emissões diretas de CO2 de MUT foram incluídas e discriminadas? | | | x | X |
| | 37 | Foram incluídos os dados do transporte? | | | | X |
| | 38 | Foram informados os dados faltantes? | | | | X |
| | 39 | Foram informados os tipos de dados para cada fluxo? | | | | X |
| | 40 | Foi informada a incerteza dos dados para cada fluxo? | | | | X |
| | Revisão | 41 | | Caso tenha havido revisão crítica de terceira parte, as informações necessárias foram fornecidas? | | |
| 42 | | Se houve revisão crítica, o relatório da revisão pode ser disponibilizado para os revisores do SICV junto com o conjunto de dados? | | X | | |
| Novos requisitos incluídos | I | Foi definida a unidade funcional? | Informar a unidade funcional do processo. As unidades funcionais podem ser definidas de acordo com o material, informações geométricas ou com base no processo (EX: espessura ou quantidade de material removido por segundo). | | | X |
| | II | Foram realizados os estudos de: tempo, consumo de potência, consumíveis e de emissões? | Em caso da utilização da abordagem <i>Screening</i> não há necessidade de informar esses estudos, portanto, não se aplica. Entretanto, para <i>datasets</i> que utilizaram <i>In Depth Approach</i> há necessidade de informar esses 04 estudos prévios seguindo o UPLCI. | Screening Approach | | In Depth Approach |
| | III | Foi feito um estudo de capacidade do processo? Se sim, o indicador e seu valor de referência foram informados (cp, cpk, cpm, etc.)? | O processo precisa ter capacidade assegurada. Processos com capacidade fora do padrão operam em condições anormais e isso gerará incertezas desnecessárias. Evidências da avaliação da capacidade podem ser feitas via indicadores tais como: média, desvio-padrão, Cp, Cpk, Ppk, ppm/DPMO, Z bench st, Z bench lt, Z shift, classe de processo. Com isso, é necessário informar se o estudo foi realizado, e, em caso positivo, informar o indicador de capacidade adotado ao processo. | | | X |
| | IV | Foi informada a descrição dos indicadores de desempenho do processo? | É necessário informar se houve ou não a descrição dos indicadores de desempenho. É necessário informar a produtividade do processo, o tempo de ciclo, o tempo de espera e o tempo para agregação de valor. | | | X |

| Tipo | Número | Requisitos | Descrição para os requisitos modificados e os novos incluídos no guia | Prioridade | | |
|------|--------|---|--|------------|-------------|-------------|
| | | | | Opcional | Recomendado | Obrigatório |
| | V | O processo foi classificado quanto ao seu nível de automação? | Classificar o processo em questão com relação ao seu nível de automação. As possíveis classificações são: ALTA (para máquinas totalmente automatizadas), MÉDIA (para máquinas semi-automatizadas), BAIXA (para máquinas com pouca automação) e MANUAL (para serviços que são feitos exclusivamente de modo artesanal). | | | X |
| | VI | A representatividade do processo frente a toda produção do produto foi informada? | Consiste em calcular a representatividade do processo em questão, relacionando o tempo de processo ao total de tempo para produção do produto/componente em questão, desde a entrada da matéria-prima até a saída do produto acabado. | X | | |

3.1.1. Requisitos Mantidos no guia Qualidata-manufatura

Durante a etapa de adaptação do Qualidata, manteve-se a presença de 24 requisitos do guia original, conforme o Quadro 5, representados pela cor azul. Os requisitos mantidos mencionam-se aos requisitos de caráter mais geral, ou seja, requisitos que são fundamentais de serem informados em qualquer tipo de *dataset*. Com isso, preservou-se a presença de 24 requisitos do Qualidata original, sendo: 19 de natureza obrigatória, 1 de natureza opcional e 4 recomendados de serem informados.

3.1.2. Requisitos Modificados do guia Qualidata

Também ocorreu a modificação de 14 requisitos pertencentes ao guia Qualidata de modo a atender com maior fidelidade aos processos de manufatura. Dentre os 14 requisitos alterados, 12 eram obrigatórios e 2 recomendados de serem informados quanto aos seus cumprimentos.

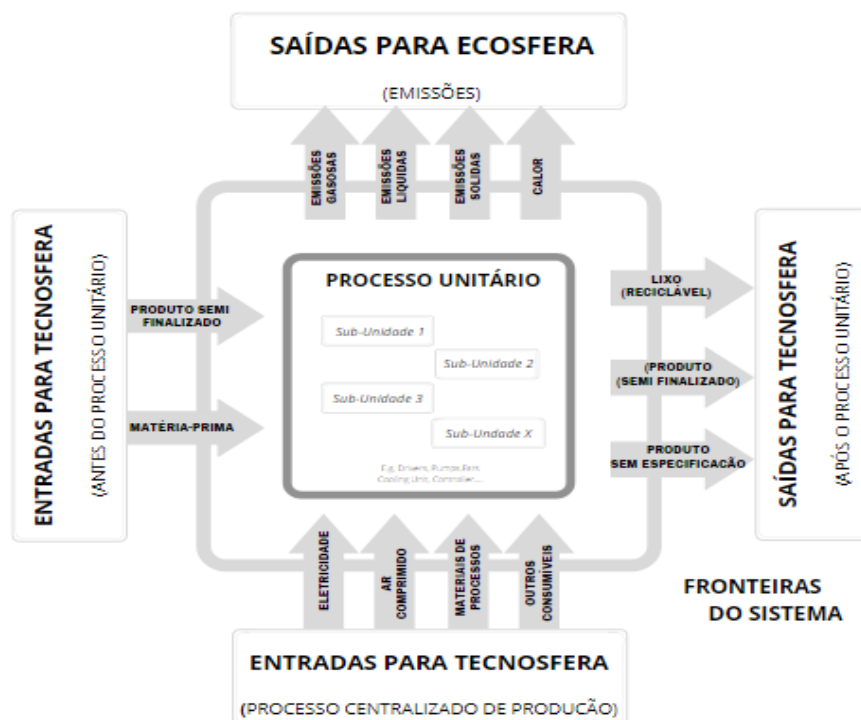
Essas modificações feitas aos requisitos do Qualidata original englobam desde adaptações simples, perceptível no agrupamento dos requisitos 31 e 32 do guia original, no qual a obrigatoriedade de se discriminar os Compostos Orgânicos Voláteis (COV) e os Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HAP) foi agrupada em um só requisito; até mudanças mais notórias, como no requisito 8, que após a adaptação, será necessário informar não apenas um breve resumo do processo/tecnologia estudado, como também explicitar o ano e o modelo da máquina/ferramenta em questão, além de explicitar suas subunidades (ex: unidade hidráulica, unidade de resfriamento) e seus modos de operação (inicialização, espera, operação, desligamento, outros).

Outras alterações relacionadas ao agrupamento de requisitos são perceptíveis nos requisitos 14 e 15, na qual as obrigatoriedades de identificação do sistema de produto e dos fluxos elementares passaram a pertencer a um único requisito, além disso, houve a necessidade de o sistema de produto seguir a metodologia UPLCI de Kellens et al. (2012a,b). Desse modo, as entradas e saídas à tecnosfera precisarão ser informadas no eixo horizontal, enquanto, as saídas à ecosfera são indicadas no eixo vertical, conforme a Figura 2.

De igual modo, os requisitos 19, 20 e 21 tocantes aos balanços de massa, energia e água foram reunidos em um único item. Isso se justifica pelo fato dos processos industriais realizados por uma dada máquina/ferramenta apresentarem especificidades. Dessa forma, há processos em que o foco é apenas a eficiência energética (ex: caldeiras, queimadores de biomassa), deixando os outros dois balanços em segundo plano, bem como, podem haver processos em que o objetivo é analisar a quantidade de material removido de uma peça, foco muito utilizado em processos subtrativos como os de usinagem. Já em processos de secagem, ou no caso de reatores que utilizam água, provavelmente, o balanço de água se mostrará como sendo o mais

relevante a ser levado em conta. Assim, se sugeriu que esses requisitos fossem agrupados e que o *data provider* defina qual a abordagem de balanço de matéria que será informado.

Figura 2. Representação de um sistema de produto com as entradas/saídas para o caso de um processo de manufatura.



Fonte: adaptado de Kellens et al. (2012a).

Similarmente, realizou-se a alteração do requisito 2 de modo a permitir que o nome do *dataset* saliente, primeiro, o processo/ferramenta em questão, seguido pela informação a respeito do produto ou matéria-prima processada e depois, por alguma outra especificação (ex: marca e modelo da máquina, potência do equipamento). A adaptação relacionada ao requisito 10 se deu por conta da mudança da representatividade, de modo a verificar, após a adaptação, as quantidades percentuais de processos industriais (e não produtos) semelhantes em níveis nacionais, estaduais ou regionais existentes.

De forma análoga, o requisito 11 referente ao uso das abordagens atribucionais e consequenciais foi modificado. Ressalta-se que inventários de processos de manufatura seguem, por natureza, uma abordagem atribucional. Com isso, após a adaptação, haverá necessidade de informar se o estudo em questão utilizou a abordagem *Screening Approach* ou *In Depth Approach*. Sendo a primeira, referente ao uso de estimativa de dados por meio de cálculos de engenharia, enquanto, a segunda, relaciona-se a uma abordagem *in loco*, isto é, os dados utilizados no inventário são medidos no chão de fábrica junto às

máquinas/ferramentas e assim quantificados com auxílio de aparelhos e equipamentos de precisão, garantindo maior fidelidade aos dados.

A mudança correlata ao requisito 23 foi menos notória, salientando a tal requisito a informação referente aos bens de capital apenas à máquina/ferramenta em questão. Seguindo semelhante diretriz adaptativa, o requisito 28 que se referenciava às informações relacionadas aos compartimentos e subcompartimentos dos fluxos que compõe um *dataset*, foi modificado de modo a informar, após a adaptação, os fluxos elementares e tecnológicos para cada subunidade, como também para cada modo de operação da máquina/ferramenta estudada.

De modo similar, o requisito 25 do guia original foi modificado com o objetivo de garantir ao *dataset* em questão a informação do fluxo de referência de acordo com o padrão estabelecido pela metodologia UPLCI (KELLENS et al. 2012a, b). Cabe destacar, que em concordância a essa metodologia, o fluxo de referência precisa se relacionar ao tempo de 1 segundo de processamento da máquina/ferramenta em questão para dada quantidade de produto de saída.

3.1.3. Requisitos Retirados do guia Qualidata

Ao longo do processo adaptativo do guia, foi elencado pelos autores a presença de requisitos alheios aos processos industriais, desse modo, houve a sugestão de retirada de 4 requisitos, sendo eles: 1 de natureza obrigatória, 2 de natureza obrigatória/recomendado e 1 de natureza opcional conforme a representação na cor vermelho pelo Quadro 5.

Os requisitos 17 e 36 foram retirados, pois se relacionavam às mudanças do uso da terra, assim, faziam referência aos dados de estudos agroflorestais, preocupação com pouca ou nenhuma relação com processos fabris.

De modo similar, o requisito 35 foi removido por referenciar-se as emissões de longo prazo, ou seja, tempo de emissões superiores ao período de 100 anos. Tempo muito superior ao de vida útil das máquinas/ferramentas industriais, sendo assim, um requisito incompatível ao se analisar *datasets* de manufatura.

De forma análoga, ocorreu a retirada do requisito 37, correlato aos dados de transportes. Requisito muito importante aos estudos que utilizam fronteiras de sistema *cradle-to-grave* ou *cradle-to-gate*. No entanto, esse requisito torna-se irrelevante e sem uso para sistemas *gate-to-gate* ou com fronteiras de análise ainda mais reduzidas, como é o caso dos *datasets* de manufatura, que centram suas análises apenas dentro das plantas industriais.

3.1.4. Requisitos Incluídos ao guia Qualidata

A análise bibliográfica pautou-se através de estudos em periódicos correlatos à metodologia UPLCI (KELLENS 2012a, b). Desse modo, foram formulados e adicionados ao guia, requisitos julgados fundamentais para a avaliação e adequação de *datasets* de processos fabris. Com isso, incluiu-se seis requisitos ao Qualidata durante a adaptação, sendo: 4 de natureza obrigatória, 1 de natureza obrigatória/opcional e 1 de natureza opcional, conforme o Quadro 5 nos requisitos com numerais romanos na cor verde.

A inclusão do requisito I ao guia adaptado, relaciona-se a uma das principais e mais importantes informações que um processo exercido por uma máquina/ferramenta precisa informar. O requisito em questão associa-se à unidade funcional, segundo o qual retrata o objeto de estudo do inventário e suas especificidades, possibilitando futuras replicações e/ou comparações com processos de características semelhantes. Pode-se definir a unidade funcional de um processo, baseando-se: no tipo de material utilizado no processo; em informações geométricas a respeito das dimensões da matéria-prima ou produto e até conexo ao processo como um todo, relacionando-se à espessura desejada do produto ao final do processo ou ainda relacionada à quantidade de material removido pelo processo. Com isso, por se tratar de uma característica fundamental aos processos industriais, este requisito foi pautado como obrigatório quanto a sua necessidade de informação.

O requisito II, por sua vez, foi adicionado intencionando atender exclusivamente inventários optantes pela abordagem *In Depth Approach*, ou seja, a abordagem de medições *In loco*. Desse modo, trabalhos referentes à utilização da abordagem *Screening Approach* terão esse requisito em questão como sendo opcional, assim, durante o preenchimento da tabela de quantificação de pontuação dos *datasets*, deve-se colocar como requisito atendido. No entanto, inventários recorrentes a metodologia *In Depth approach*, necessitam obrigatoriamente informar se houve ou não a realização dos estudos propostos pela metodologia UPLCI para a construção do *dataset*, sendo: o estudo de Tempo, o estudo de consumo de Potência, o estudo de Consumíveis e o estudo de Emissões (KELLENS et al., 2012 a).

Incluiu-se o requisito III para se reduzir ao máximo as incertezas do processo analisado, reportando a obrigatoriedade de informação a respeito da realização ou não de estudos acerca da capacidade do processo. Esses estudos emitem informações sobre as condições de funcionamento das máquinas/ferramentas, com o intuito de verificar se operam em condições normais de regime de trabalho. Assim, essas avaliações a respeito da capacidade podem ser guiadas por diversos indicadores, tais como: média, desvio-padrão, Cp, Cpk, Ppk, ppm/DPMO, Z bench st, Z bench lt, Z shift, e classe de processo.

De forma análoga, a inclusão do requisito IV justifica-se na necessidade de obtenção de dados palpáveis acerca do funcionamento das máquinas/ferramentas ao longo do processo executado. Em vista disso, haverá a obrigatoriedade de informação referente aos dados do processo. Com isso, dados correlatos a produtividade do processo, ao tempo de ciclo, ao tempo de espera (*stand-by*) e ao tempo para agregação de valor, precisarão ser relatados se foram incluídos ou não ao *dataset*. Visto que esses dados captam os indicadores de desempenho do processo estudado, permitindo futuras comparações de processos realizados por diferentes máquinas/ferramentas e replicações mais adequadas.

O requisito V refere-se à natureza de funcionamento da máquina/ferramenta, ou seja, servirá de parâmetro à compreensão da motriz do processo em questão. Dessa forma, será necessário informar a classificação do processo industrial em questão, quanto ao seu nível de automação. Com isso, os processos poderão ser: de alta automação, para equipamentos totalmente automatizados; média automação, para processos que cindem em cerca de 50% entre automação e trabalho manual; baixa automação, para processos predominantemente realizados com força manual, mas que apresentam partes automatizadas; ou processos manuais, para processos que são realizados exclusivamente de forma artesanal.

O requisito VI relaciona-se à representatividade do processo em questão quando comparado ao tempo total de produção do fluxo de referência, ou seja, explicita a representatividade de tal processo durante a produção de um dado produto. A informação desse requisito poderia ser muito utilizada para estudos industriais relacionadas ao tempo de produção de um produto numa empresa, podendo ser um gatilho para o pensamento de melhorias em processos gargalos ou com altas durações. Por essa maior complexidade de informação, o requisito em questão foi elencado como sendo opcional.

3.2. Pré-validação e validação do guia adaptado

Essa seção abordará todo o processo de pré-validação e validação do guia Qualidata-manufatura.

3.2.1. Testagens e análise crítica dos indicadores de qualidade de *datasets*

Cabe ao tópico em questão, ressaltar os resultados obtidos por cada um dos quatro indicadores avaliativos, com base nas Equações 2 a 4. Ao final, foi realizada a comparação dos resultados obtidos entre os diferentes indicadores para ambos os estudos de caso, a partir do cálculo SERVQUAL com a Equação 1. Segue a Tabela 1 que apresenta aos resultados da autoavaliação feita pelos *data providers* dos *datasets* dos dois estudos de caso, e que contém também resultados da percepção de qualidade determinada pelos especialistas, revisores externos para cada um dos *datasets* (membros selecionados da Rede ACV).

Já a Tabela 2 retrata a quantidade de requisitos obrigatórios, recomendados e opcionais atendidos por cada um dos estudos de caso segundo a autoavaliação feita pelos *data providers*, bem como essas quantidades obtidas com a revisão dos revisores externos.

Tabela 1. Resultados obtidos e cálculo do SERVQUAL.

| Indicadores | | Resultados de qualidade dos <i>datasets</i> | | |
|------------------|-----------|---|--------------------------------------|----------|
| | | SF _{Expectativa de Qualidade} | SF _{Percepção de Qualidade} | SERVQUAL |
| Estudo de caso 1 | Classif_1 | 102(200) | 110(200) | -8 |
| | Classif_2 | 102(200) | 110(200) | -8 |
| | Classif_3 | 296 (550) | 318 (550) | -22 |
| | Classif_4 | 665 (1155) | 709 (1155) | -44 |
| Estudo de caso 2 | Classif_1 | 96 (200) | 102 (105) | -6 |
| | Classif_2 | 96 (195) | 102 (105) | -6 |
| | Classif_3 | 278 (550) | 296 (550) | -18 |
| | Classif_4 | 623 (1155) | 665 (1155) | -42 |

Fonte: elaboração própria.

Tabela 2. Resultados obtidos e cálculo do SERVQUAL.

| ANÁLISE DE QUALIDADE | EXPECTATIVA | | | PERCEPÇÃO | | |
|----------------------|-------------|---------------------|--------|------------|---------------------|--------|
| | NÃO ATENDE | ATENDE PARCIALMENTE | ATENDE | NÃO ATENDE | ATENDE PARCIALMENTE | ATENDE |
| ESTUDO DE CASO 1 | 24 | 1 | 15 | 21 | 3 | 16 |
| ESTUDO DE CASO 2 | 25 | 2 | 13 | 23 | 3 | 14 |

Fonte: elaboração própria.

A partir dos resultados obtidos, percebe-se que em ambos os estudos de caso ocorreram às mesmas classificações para os quatro diferentes indicadores propostos, sendo todos classificados como de baixa qualidade. No entanto, notou-se que a *Classif_4* baseada em um somatório ponderado apresentou-se com um percentual mediano de atendimento quando comparado às outras classificações. Nesse sentido, a *Classif_4* apresentou resultados mais confiáveis de modo a não subestimar os resultados como no caso da *Classif_3*, nem ao fato de superestimar os resultados, conforme percebido nos métodos 1 e 2 para ambos os estudos de caso.

A *Classif_4* também se mostrou mais eficiente com relação ao preenchimento da tabela (ver Apêndice I), pois é possível utilizar planilhas automáticas prontas (como Excel, Libre) e obter assim um resultado rápido e confiável, devido à ponderação dos requisitos. De modo que, se

um único requisito obrigatório não for atendido, o *dataset* pontuará para qualidade baixa ou baixa expectativa de qualidade durante a autoavaliação feita pelo *data provider*.

A partir dos resultados obtidos para as expectativas e para as percepções, nota-se a presença da escala SERVQUAL com valor negativo para todos os testes realizados (rever Tabela 1). Isto significa que os resultados obtidos com a percepção dos revisores foram superiores quando comparados às expectativas iniciais. Com isso, ressalta-se que os dados analisados se mostraram mais completos do que os próprios provedores dos dados acreditavam, como pode ser percebido nas Tabela 2, para as expectativas e percepções de qualidade quanto ao atendimento de requisitos, respectivamente.

4. CONCLUSÕES

Ao utilizar o Qualidata-manufatura (versão digital no Apêndice I) como guia para adequação de dados de processos fabris, haverá maior garantia de completeza e qualidade quanto ao *dataset* produzido e submetido ao SICV Brasil. Visto que o guia criado se baseou em 6 novos requisitos propostos, 14 requisitos modificados e 4 requisitos removidos do Qualidata original para o desenvolvimento da adaptação aos processos fabris. Desse modo, utilizando o Qualidata-manufatura espera-se uma maior quantidade de novos *datasets* sendo submetidos ao SICV Brasil no curto-médio prazo.

Resta destacar, que apesar de ambos os estudos de caso terem sido classificados como de baixa qualidade, não significa que os *datasets* em questão não possam ser aceitos no futuro. Contudo, necessitariam melhorar nos aspectos abordados pelos respectivos requisitos não atendidos ou apenas parcialmente atendidos, uma vez que o guia serve como ferramenta de suporte para adequação de dados antes dos *data providers* submeterem seus *datasets* ao banco de dados nacional.

Ressalta-se, de igual modo, a utilização da escala SERVQUAL para a análise dos resultados de qualidade dos *datasets*. Com o auxílio da escala SERVQUAL é possível atribuir aos *datasets* informações a respeito de suas qualidades com base no atendimento ou não de requisitos. Podendo ser utilizada, futuramente, para classificar *datasets* no SICV Brasil e estimular, assim, a produção de *datasets* com maiores níveis de qualidade. Além disso, a escala SERVQUAL permite analisar se o *data provider* ao realizar sua autoavaliação superestimou ou subestimou a qualidade de seu *dataset* durante o preenchimento da planilha do Apêndice I, quando comparada à análise feita pelo revisor/especialista externo.

Desse modo, o Qualidata-manufatura abre portas para uma possível série de adaptações ao Qualidata original, baseando-se nos diferentes tipos de *dataset* e nos setores econômicos.

Podendo assim, ser desenvolvidos: o Qualidata-agroflorestal, o Qualidata-serviços, e muitas outras possíveis adaptações com o intuito de atender com maior fidelidade e completeza os mais variados *datasets* e servir como incentivadores à população do SICV Brasil, com *datasets* cada vez mais completos e com qualidade.

Como limitação da pesquisa, ressalta-se a testagem do Qualidata-manufatura em um baixo número de estudos de caso até o momento. Com isso, estudos futuros poderiam apurar ainda mais as adaptações feitas, testando o guia e os indicadores prévios de classificação para os *datasets*, com o intuito de garantir uma maior robustez ao guia desenvolvido.

REFERÊNCIAS

- CIROTH, A.; FOSTER, C.; HILDENBRAND, J.; ZAMAGNI, A. Life cycle inventory dataset review criteria—a new proposal. *The International Journal Of Life Cycle Assessment*. Alemanha, p. 483-494. dez. 2020.
- DORNFELD, A. D. (2013). *Green manufacturing: fundamentals and applications*. Berkeley: Springer
- DUFLOU, J. R., SUTHERLAND, J. W., DORNFELD, D., HERMANN, C., JESWIET, J., KARA, S., HAUSCHILD, M., KELLENS, K. (2012). Towards energy and resource efficient manufacturing: a processes and systems approach. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 61, 587-609. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2012.05.002>
- EC/JRC/IES (2010b). ILCD Handbook: Specific guide for Life Cycle Inventory (LCI) data sets, European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Luxembourg. *Publications Office of the European Union*, 2010, EUR 24709 EN.
- FILLETI, R. A.P. LOPES SILVA, D.A., DA SILVA, E.J., OMETTO, A.R. (2017). Productive and environmental performance indicators analysis by a combined LCA hybrid model and real-time manufacturing process monitoring: A grinding unit process application, 161, 510-523. 10.1016/j.jclepro.2017.05.158
- FIRMINO, A. S. *Green manufacturing: avaliação do ciclo de vida de processos de usinagem de tubos de alumínio*. 2019. 106 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2020.
- Global Employment Trends 2011: The challenge of a jobs recovery / International Labour Office. - Geneva: ILO, 2011, 1 v.
- KELLENS, K.; DEWULF, W.; OVERCASH, M.; HAUSCHILD, M.; DUFLOU, J. R. Methodology for systematic analysis and improvement of manufacturing unit process life cycle inventory (UPLCI), part 1: Methodology description. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 17, p. 69-78, 2012a.
- KELLENS, K.; DEWULF, W.; OVERCASH, M.; HAUSCHILD, M.; DUFLOU, J. R. Methodology for systematic analysis and improvement of manufacturing unit process life cycle inventory (UPLCI), part 2: Case studies. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 17, p. 242-251, 2012b.
- KLOCKE, F. *Manufacturing Processes 4: forming*. Berlin: Springer, 2013. 516 p.
- MACCARTHY, B.L.; FERNANDES, F.C. (2000). A multi-dimensional classification of production systems for the design and selection of production planning and control systems. *Production Planning & Control: The Management of Operations*, v.11, n.5, 481-496
- MAIA DE SOUZA, D., BRAGA, T., FIGUEIRÊDO, M.C.B., FOLEGATTI-MATSUURA, M.I.S., TEIXEIRA DIAS, F.R., UGAYA, C.M.L., 2016. Life cycle thinking in Brazil: challenges and advances towards a more comprehensive practice. *Int. J. Life Cycle Assess.* 22, 462–465.

PARASURAMAN, A.; ZEITHAML, V. A.; BERRY, L. L. A Conceptual Model of Service Quality and Its Implications for Future Research. *Journal of Marketing*, v. 49, n. 4, p. 41, 1985

REBITZER, G. et al. (2004). Life cycle assessment part 1: framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment International*, v.30, n. 5, p. 701-720.

RODRIGUES, T.O. et al. Guia Qualidata: requisitos de qualidade de conjuntos de dados para o banco nacional de inventários do ciclo de vida. Brasília: Ibict, 2016.

SALIMATH, M. S.; CHANDNA, V. Sustainable consumption and growth: Examining complementary perspectives. *Management Decision*. Denton,texas, p. 1-21. maio 2018

SILVA, D. A. L.; MASONI, P. (2016). *Diálogos Setoriais Brasil e União Europeia: análise crítica das principais políticas de gestão, manutenção e uso de bancos de dados internacionais de inventários do ciclo de vida de produto*. Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia - IBICT, Brasília: 2016. ISBN 978-85-7013-116-4.

SILVA, D.A.L. *Gestão do ciclo de vida de produtos por meio da avaliação e do monitoramento ambiental de processos de manufatura: procedimento e estudo de caso*. 2013. 317 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016

SILVA, D.A.L.; OETTO, A.R.; SILVA, E.J. (2016). Green Manufacturing: uma análise da produção científica e de tendências para o futuro. *Production Journal*. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-6513.032513>

SILVA, D.A.L. et al. (2018). Life Cycle Assessment in automotive sector: A case study for engine valves towards cleaner production, 184, 286-300. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.252>

SILVA, D.A.L., FIRMINO, A.S., FERRO, F.S. et al. Life cycle assessment of a hot-pressing machine to manufacture particleboards: hotspots, environmental indicators, and solutions. *Int J Life Cycle Assess* 25, 1059–1077 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01755-3>

SOUZA, L.SM. et al. (2020). Evaluating and ranking secondary data sources to be used in the Brazilian LCA database – “SICV Brasil”. *Sustainable Production and Consumption*, 26, 160-171. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.09.021>

THORN, M.J.; KRAUS, J.L.; PARKER, D.R. Life cycle assessment as a sustainability management tool: strengths, weakness, and other considerations. *Environmental Quality Management*, v.20, n.3, p.1-10, 2011.