

ESQUEMA CONCEITUAL DE INTERNET DAS COISAS PARA ACV NA FASE DE USO DE EDIFICAÇÕES

Internet of Things framework for environmental impact assessment in buildings' use phase

Natália Nakamura Barros
Universidade Estadual de Campinas | Campinas, SP | natalianakamura.arq@gmail.com

Regina Coeli Ruschel
Universidade Estadual de Campinas | Campinas, SP | ruschel@unicamp.br

Vanessa Gomes da Silva
Universidade Estadual de Campinas | Campinas, SP | vangomes@unicamp.br

RESUMO

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) investiga sistematicamente os impactos ambientais e encontra aplicações inclusive na indústria da construção. Tao et al. (2014) desenvolveram uma arquitetura de *Internet of Things* (IoT) e extração de materiais em BIM para o nível de produção de produto. Este artigo apresenta resultados parciais de uma pesquisa de doutorado desenvolvida com o método *Design Science Research* (DSR), e mantém seu foco na fase de sugestão do método. Propõe-se uma adaptação do arcabouço conceitual de Tao et al. (2014) para aplicação à etapa de uso do edifício. O esquema IoT + BIM para ACV de edificações permaneceu com as mesmas camadas da estrutura proposta por Tao et al. (2014), mas altera o seu conteúdo devido ao propósito e escopo da ACV: (i) as atividades da camada de percepção estão relacionadas ao uso da edificação; (ii) a camada de dados inclui o modelo BIM e os dados de monitoramento de uso do espaço; (iii) A camada de serviço é reordenada e incorpora algoritmos de IA; e (iv) A camada de aplicação inclui profissionais de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Uma arquitetura de IoT baseada em BIM com inteligência para ACV no estágio de uso de edifícios é muito promissora e inovadora ao permitir a coleta de dados ambientais em tempo real, e a sua transformação - de forma inteligente e dinâmica - em indicadores. Esta estrutura será subsequentemente avaliada em ambientes institucionais de laboratório durante uma fase de uso.

Palavras-chave: Avaliação do Ciclo de Vida; Internet das Coisas; Modelagem de Informação da Construção; Inteligência Artificial.

ABSTRACT

Life Cycle Assessment (LCA) systematically investigates environmental impacts and finds applications also in the construction industry. Tao et al. (2014) developed an architecture of Internet of Things (IoT) and Bill of Materials (BOM)-Based LCA at product level. This article presents partial results of a Ph.D. research, developed with the Design Science Research (DSR) method, and focuses on the suggestion stage of the method. An adaptation of Tao et al. (2014)'s conceptual framework is applied to the building use phase. The IoT + BIM for building LCA framework maintained the same original layers proposed by Tao et al. (2014), while their content changed to reflect the LCA's purpose and scope: (i) the Perception layer activities refer to the use phase; (ii) the Data layer includes the BIM data and building use sensor data; (iii) the Service layer is reordered and incorporates AI algorithms and; (iv) the Application layer includes professionals from Architecture, Engineering, and Construction (AEC). A BIM-Based IoT Architecture for Intelligent LCA of buildings is very promising and innovative for enabling real-time environmental data collection and transformation - intelligently and dynamically – into environmental indicators. This framework will be subsequently evaluated in operating institutional laboratory environments.

Keywords: Life Cycle Assessment; Internet of Things; Building Information Modeling; Artificial Intelligence.

1 INTRODUÇÃO

O Relatório Global de Riscos de 2018 apontou que os problemas ambientais são um dos riscos mais prementes que podemos enfrentar em um horizonte de dez anos (WORLD ECONOMIC FORUM, 2018). A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma das metodologias mais utilizadas para investigação sistemática destes impactos (ABNT, 2009a, b; GUINÉE et al, 2002), e, na construção civil, podem considerar, por exemplo, todo o ciclo de vida de um produto de construção, obra civil ou edificação.

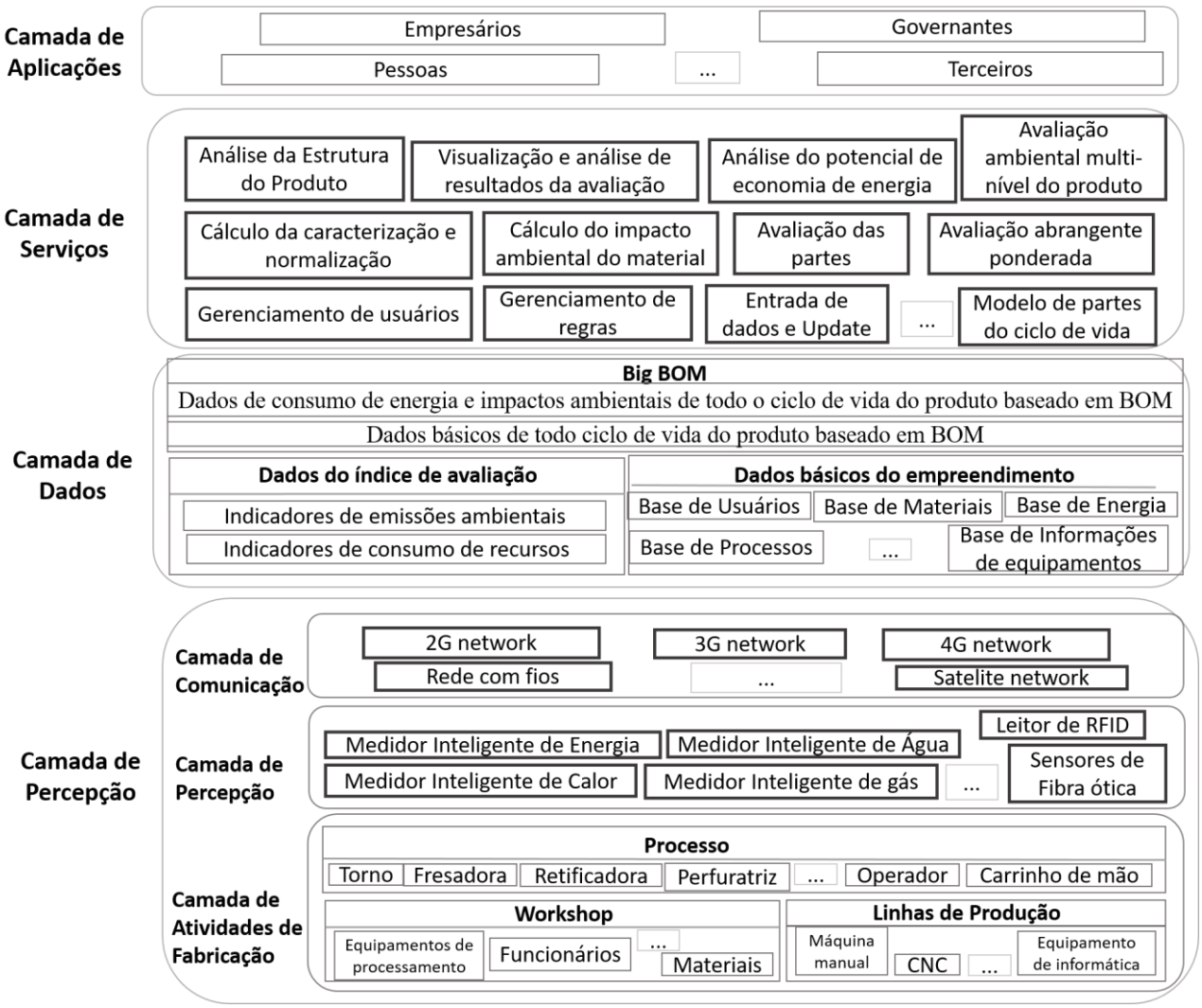
O emprego da Modelagem da Informação da Construção (*Building Information Modeling* - BIM) na ACV traz precisão ao processo, auxilia a tomada de decisão durante toda a evolução do projeto e instiga a convergência para uma solução otimizada (BARROS, 2016; BARROS; RUSCHEL; SILVA, 2015; BARROS; SILVA, 2016; GOMES; BARROS, 2018). Somando a isto, a Indústria 4.0 está sendo impulsionada através

BARROS, N. N.; RUSCHEL, R. C.; SILVA, V.G. Esquema conceitual de Internet das Coisas para ACV na fase de uso de edificações. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 2., 2019, Campinas, SP. **Anais[...]** Porto Alegre: ANTAC, 2019. Disponível em: https://antaceventos.net.br/index.php/sbtic/sbtic2019/paper/view/171

de Internet das Coisas (Internet of Things - IoT) integrada com o ambiente (GILCHRIST, 2016). A IoT consiste em uma plataforma global inteligente e invisível, que pode ser detectada, controlada e programada (CHASE, 2013; MIORANDI et al., 2012). O processamento dos dados coletados usando ferramentas de inteligência computacional e métodos de aprendizado de máquina conduz a previsões e tomada de decisões antes inviáveis (MOHAMMED; KHAN; BASHIER, 2017).

Tao et al. (2014) elaboraram um esquema conceitual genérico de ACV para redução do consumo de energia e emissão de CO_2 de um produto, utilizando IoT e Lista de Materiais (*Bill of Materials – BOM)* (Figura 1).

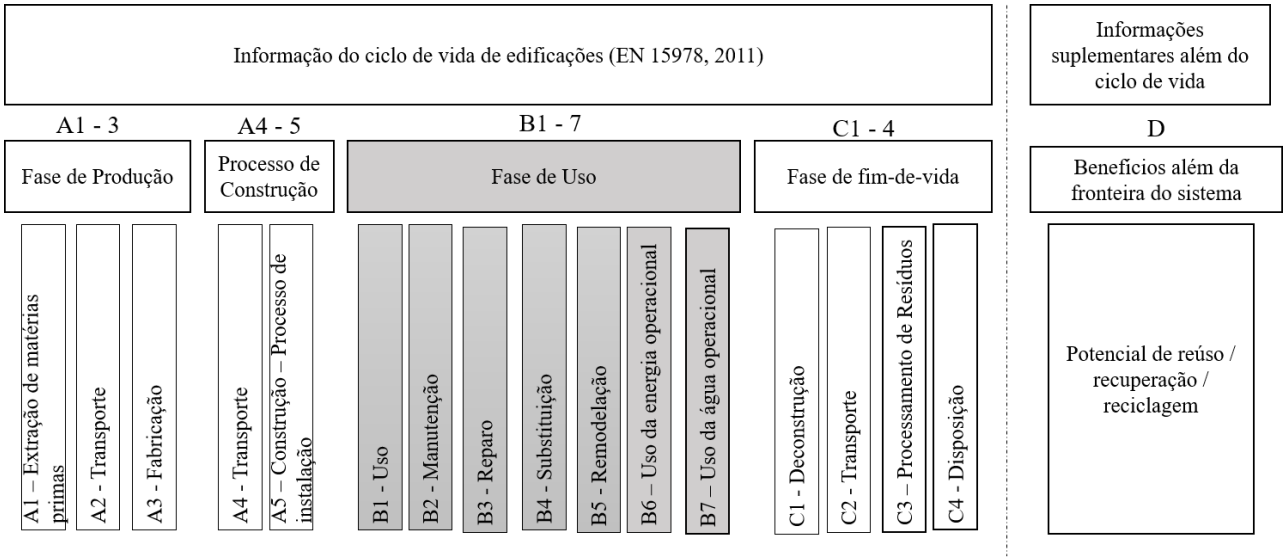
Figura 1: Framework conceitual de Tao et al (2014) – Arquitetura de IoT baseada em ACV.



Fonte: traduzido Tao et al. (2014, p. 1255).

Para atribuir inteligência à ACV de edificações, nesse artigo propõe-se adaptar o esquema conceitual originalmente proposto por Tao et al. (2014) para produtos, ao escopo de edificações completas, com enfoque na fase uso (módulos B1 a B7 da Figura 2). O artefato apresentado será posteriormente avaliado em ambientes laboratoriais de edificações institucionais em operação.

Figura 2: Escopo de ACV de uma edificação, segundo a norma EN 15978:2011 (CEN, 2011), destacando os módulos-alvo deste artigo (estágio de uso).



Fonte: adaptado de BSI (2011).

Apesar de desenvolvido para a fabricação de produtos da indústria seriada, o esquema conceitual em quatro camadas (aplicações, serviços, dados e percepção) pode ser transportado para o contexto da edificação, ainda que esta adicione complexidade significativa em relação à avaliação de produtos individuais. A camada de percepção precisa adequadamente abranger as múltiplas fases do ciclo de vida da edificação, e compreender os estágios de produto e construção, uso e operação, fim-de-vida ou mesmo informações adicionais que trespassam os limites do sistema analisado (Figura 2). Naturalmente, a natureza de edificações como um produto único e, em muitas situações, ainda produzido de forma semi-artesanal e fora de ambientes industrializados, desafia a transposição literal do esquema conceitual como uma forma padronizada que entregue melhoria imediata de desempenho ainda em "linha de produção". Mas, se entendido como conceito – em vez de aplicação, pode fornecer uma base teórica inicial para desenvolvimento de arquiteturas específicas de coleta e tratamento de dados. ACVs não se destinam exclusivamente à melhoria de novos produtos, mas – e principalmente no caso de edificações, de longa vida útil – à realização de auditorias ambientais que apontem oportunidades para intervenção em edificações existentes. Nesse sentido, a coleta de dados em tempo real pode ajudar a preencher lacunas durante a fabricação de (mais diversos) produtos, atividades de construção em si, e também atividades de desconstrução e processamentos no fim de vida, além da aplicação à fase de uso, enfatizada nesse artigo.

2 MÉTODO

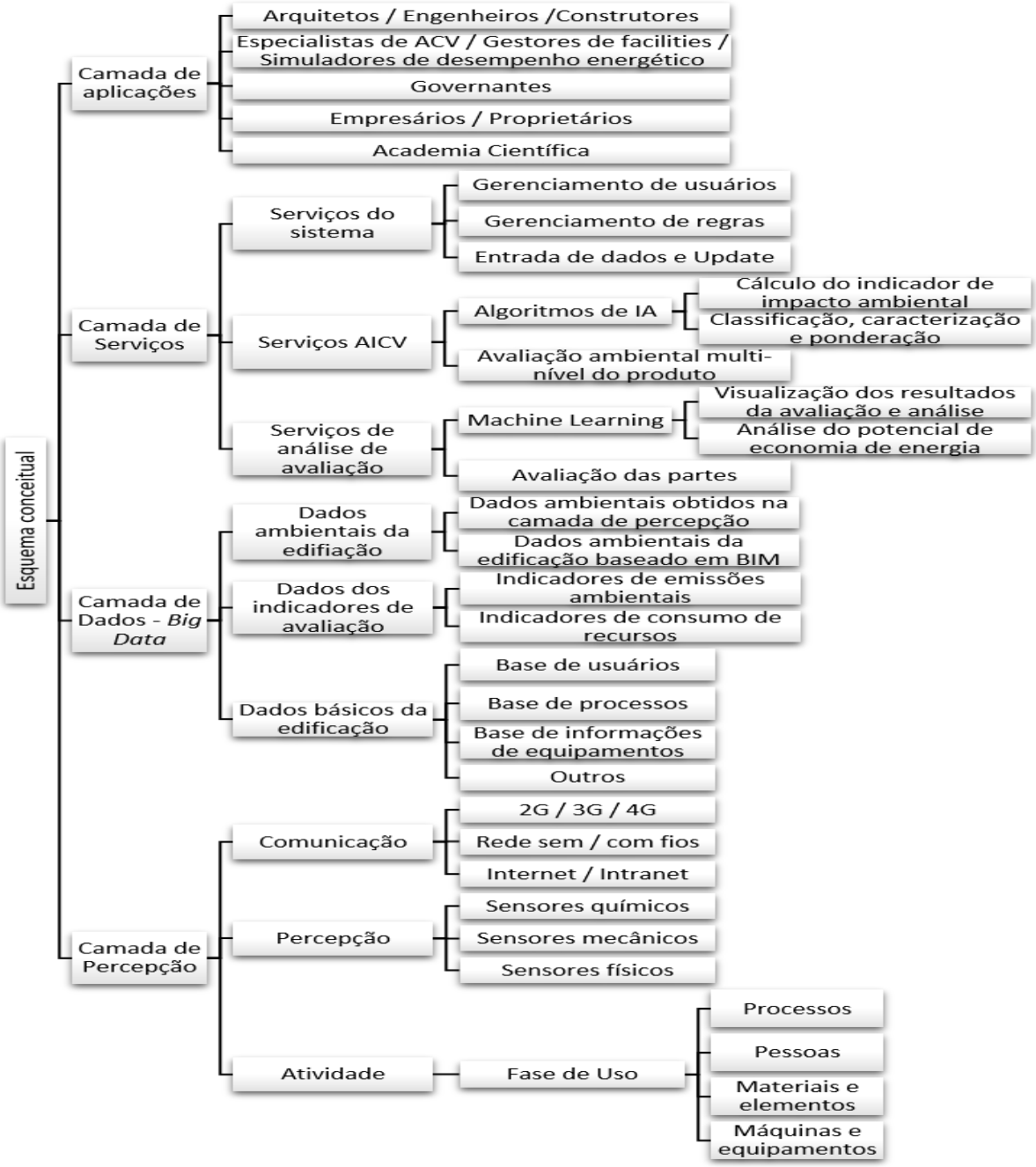
O presente artigo apresenta os resultados parciais de uma pesquisa de doutorado, no qual será utilizado o método de Design Science Research (DSR), também conhecido como Pesquisa Construtiva (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JUNIOR, 2015), com o seguinte delineamento: (i) conscientização do problema; (ii) sugestão; (iii) desenvolvimento; (iv) monitoramento; e (v) lições aprendidas (VAISHNAVI; KUECHLER; PETTER, 2017). A pesquisa em DSR é um método que estabelece e operacionaliza a pesquisa quando o objetivo desejado é um artefato (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JUNIOR, 2015).

Este artigo abrange a etapa de Sugestão, e consistiu na adaptação do framework de Tao et al. (2014) para edificação, considerando-se as normas brasileiras (ABNT, 2009a, 2009b) e internacionais (BSI, 2011), bem como publicações relacionadas. Posteriormente, as demais etapas da DSR serão desenvolvidas através do desenvolvimento desta arquitetura IoT para ACV inteligente em uma plataforma open source de IoT, e monitoramento e validação do framework proposto.

3 RESULTADOS

O esquema original em quatro camadas foi readaptado e reestruturado para melhor entendimento (Figura 3) do framework de IoT+BIM para ACV inteligente de edificações (etapa de uso).

Figura 3: Framework de IoT+BIM para ACV inteligente de edificações.



Fonte: dos autores

3.1 CAMADA DE PERCEPÇÃO

A adaptação da camada de percepção está essencialmente na subcamada de atividade. O estágio de estudo de referência para ACV será a fase de uso da edificação (Figura 2), subdivido em: uso de produtos instalados; manutenção; reparo; substituição; reforma; uso da energia operacional e; uso da água operacional (BSI, 2008). Este estágio da ACV dirigirá as observações sobre processos, pessoas, materiais e elementos e, máquinas e equipamentos envolvidos nesta fase.

A subcamada de percepção é responsável pela coleta de dados e é composta principalmente por sensores, que são pequenos componentes eletrônicos capazes de detectar muitos tipos de informações de seus arredores (ILYAS et al., 2014). Quando baseado em propriedades, estes podem ser classificados, por exemplo, como sensores: (i) físicos, (ii) mecânicos e, (iii) químicos (ABDULLAH, 2014). Os sensores físicos incluem os sensores de fluxo, luminosidade, acústica, umidade, pressão, temperatura e solo; os mecânicos, de proximidade, posição, nível de água, movimento e vento; já os sensores químicos, correspondem aos sensores de gás e biosensores.

A subcamada de comunicação compõe-se de redes formadas por um grande número de sensores que podem ser distribuídos, aleatória e densamente, para diversas aplicações (ILYAS et al., 2014). Existem várias tecnologias usadas para construir redes de sensores sem fio: rede de área pessoal sem fio (por exemplo, Bluetooth), rede local sem fio (WLAN) (por exemplo, Wi-Fi), rede sem fio de área metropolitana (WMAN) (por exemplo, WiMAX), rede de longa distância sem fio (WWAN) (por exemplo, redes 2G e 3G) e rede de satélites (por exemplo, GPS). As redes de sensores também usam dois tipos de protocolos para comunicação: baseados não-IP (por exemplo, Zigbee e Sensor-Net) e protocolos baseados em IP (NanoStack, PhyNet e IPv6) (PERERA et al., 2014).

3.2 CAMADA DE DADOS

A camada de dados é responsável pelo armazenamento de todos os dados coletados, denominado *Big Data*. Esta camada é composta principalmente por dados ambientais da edificação, dados dos indicadores de avaliação e dados básicos da edificação.

Os dados ambientais da edificação abarcam aqueles (i) diretamente mensurados, que foram percebidos e coletados na camada de percepção, a partir do sensoriamento por IoT; e os (ii) provenientes da lista de materiais extraída do modelo BIM, além de dados de bases de inventário.

Os dados dos indicadores de avaliação armazenam principalmente o tipo de indicador de avaliação e os fatores de conversão entre diferentes tipos de indicadores. Geralmente, os indicadores de avaliação de impacto ambiental podem ser divididos em duas partes: 1) consumo de recursos e; 2) emissões ambientais. O consumo de recursos inclui o consumo de energia e o consumo não energético. As emissões ambientais incluem emissões de GEE, emissões de substâncias ácidas, emissões de esgoto, demanda de oxigênio emissões inorgânicas inaláveis, entre outras (TAO et al., 2014).

Já os dados básicos da edificação serão obtidos principalmente a partir do modelo BIM, para otimizar e dar precisão à quantificação necessária nesta subcamada. O modelo deve permitir a quantificação dos fluxos de massa e energia. Para facilitar essa quantificação, o modelo deve ser separado em: partes constituintes (todos os elementos, componentes, produtos e materiais); processos relacionados, como transporte, construção, manutenção, reparo, substituição, processos de fim de vida e; uso operacional (energia, água) (BSI, 2011).

3.3 CAMADA DE SERVIÇOS

A camada de serviços é composta por: serviços do sistema, responsável pelo gerenciamento de usuários, de dados e funções do sistema; serviços de avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV), responsável pelos cálculos de impacto ambiental de acordo com o método AICV adotado; e serviços de análise de avaliação, que envolve a visualização de resultados da avaliação, análise de potencial de economia de energia e, etc.

Os serviços AICV são dirigidos à avaliação da significância de impactos ambientais potenciais, usando os resultados da análise de inventário do ciclo de vida. Em geral, este processo envolve a associação de dados de inventário com impactos ambientais específicos e a tentativa de compreender estes impactos (ABNT, 2009a). Para tal, utiliza-se uma rotina de cálculo matricial, cujo princípio básico consiste em multiplicar cada produto e serviço quantificado em um módulo do ciclo de vida do edifício pelo seu respectivo valor para qualquer indicador ambiental (BSI, 2011). Em resumo, a rotina de cálculo resultante para a quantificação de indicadores ambientais (I) do estágio p pode ser exemplificada pela equação 1:

$$\boldsymbol{I_p = a_{1,p} \times I_{a1,p} + a_{a2,p} \times I_{a2,p} + a_{3,i} \times I_{a3,1} + \cdots + a_{N,i} \times I_{aN,i}} \quad (1)$$

Onde,
I_p é o indicador de impacto ambiental quantificado para o módulo *i* do edifício;
$a_{n,i}$ é a quantidade bruta de produto ou serviço *n* usado no módulo *i* do edifício (n = 1, 2, 3,…, N);
$I_{aN,i}$ é o indicador de impacto ambiental do produto ou serviço *n* usado no módulo *i* do edifício (n= 1, 2, 3,…, N).
Os algoritmos de Inteligência Artificial (IA) poderão ser utilizados para automatizar os cálculos dos indicadores de impacto ambiental, e para classificação, caracterização e ponderação dos dados. O aprendizado de máquinas (do inglês, Machine Learning – ML), poderá ser utilizado na análise dos dados para descobrir padrões latentes e derivar insights úteis a partir deles (BILAL et al., 2016).

3.4 CAMADA DE APLICAÇÕES

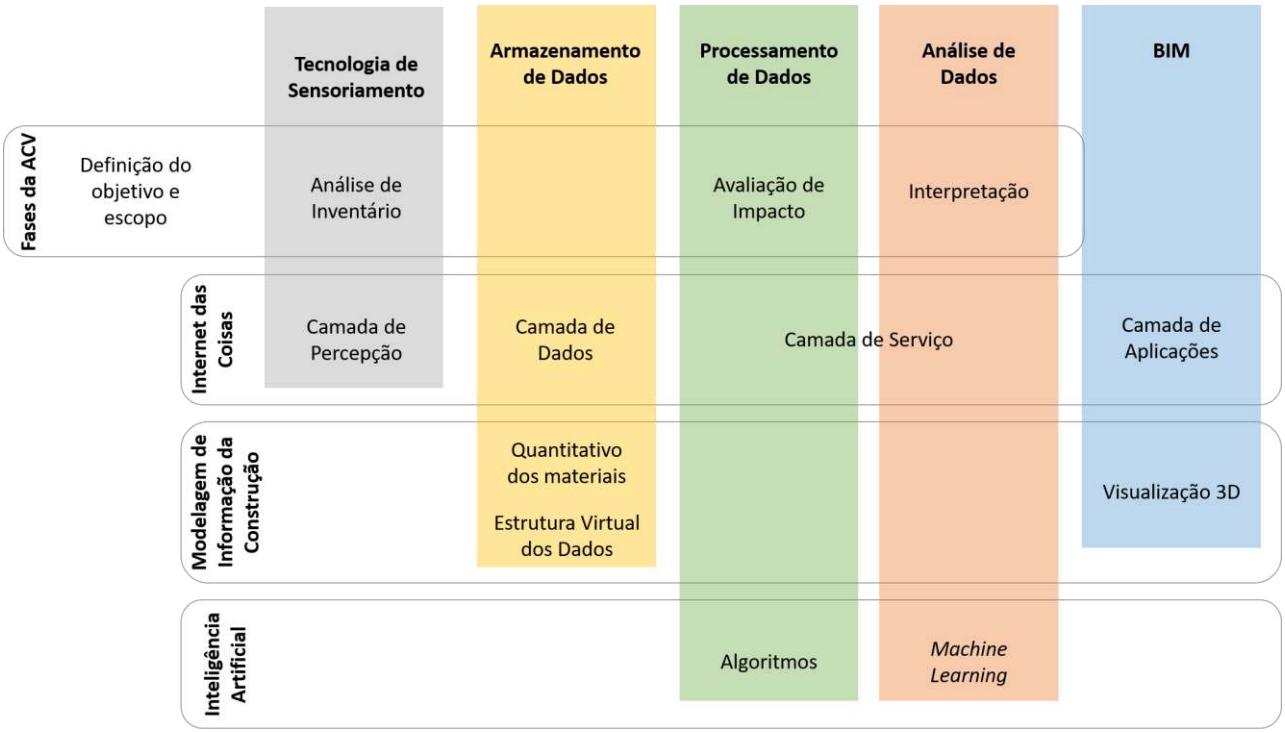
A camada de aplicações abarca os principais agentes beneficiados pela integração de IoT+BIM e ACV de edificações:

- Arquitetos, engenheiros e construtores, devido ao potencial conhecimento do desempenho real das edificações em termos dos impactos ambientais e auxílio na tomada de decisão e opção por estratégias de soluções mais sustentáveis;
- Especialista ACV, gestores de *facilities* e simuladores de desempenho energético, devido à possibilidade de obtenção de resultados rápidos e confiáveis sobre o desempenho ambiental dos edifícios;
- Governantes, no auxílio à definição de boas políticas de sustentabilidade e melhoria do correspondente mecanismo de avaliação;
- Empresários/proprietários, na otimização da estrutura da indústria e redução dos impactos ambientais relacionados ao uso da edificação;
- Academia científica, no desenvolvimento de novas pesquisas.

3.5 DISCUSSÃO

A Figura 4 mostra o esquema de relação e integração entre a arquitetura IoT e as fases da ACV, utilizando BIM e IA como facilitadores desta integração.

Figura 4: Esquema de Relação e Integração: ACV, IoT, BIM e IA.



Fonte: dos autores.

As quatro camadas originais, genéricas, de IoT se mantém, mas recebem alterações no conteúdo para ajustarem-se ao escopo da ACV de edificações. Por exemplo: (i) na camada de percepção houve alterações em relação aos processos, pessoas, materiais, elementos, máquinas e equipamentos associados à fase de uso da edificação; (ii) a camada de dados foi adaptada para melhor atendimento à norma BS EN 15978:2011 (BSI, 2011), com a inclusão da sub-camada "modelo da edificação", composta pela descrição detalhada de todos os elementos, componentes e materiais da edificação e que poderá ser fornecida pelo modelo BIM; (iii) a camada de serviços foi reordenada e incluiu os algoritmos de IA e ML para processamento e análise dos dados e; (iv) na camada de aplicações foram inclusos os profissionais da área de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), os especialistas em análises ambientais de edificações, e a academia científica.

4 CONSIDERAÇÃO FINAIS

Uma arquitetura de IoT+BIM para suporte à ACV de edificações é muito promissora e inovadora ao permitir a coleta e transformação de dados ambientais em indicadores de forma inteligente e dinâmica e em tempo real. A caracterização e estruturação desta integração é parte essencial para adicionar inteligência à ACV, e este estudo se propôs a apresentar, de modo conceitual, como proceder tal integração.

A tipologia de ambientes laboratoriais foi selecionada para instrumentação em uso devido à facilidade de acesso por parte dos pesquisadores, tanto ao espaço físico, quanto aos dados necessários para implementação do *framework*. A continuação deste trabalho se dará através da validação do framework conceitual proposto nestes ambientes, e uso de IA e *machine learning* para cálculo e análise dos indicadores ambientais a partir da leitura constante dos ambientes sensoriados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro concedido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq.

REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 14040: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2009a.

_____. **NBR ISO 14044: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2009b.

ABDULLAH, Ahsan. A Review of Applications of Sensor Networks in Smart Agriculture. **Sensor Networks for Sustainable Development**. New York: CRC Press, 2014. p. 3–25.

BARROS, Natalia Nakamura. **Impactos da adoção de BIM na avaliação de energia e emissões de GHG incorporadas no ciclo de vida de edificações**. 2016. 123 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

BARROS, N. N.; RUSCHEL, R. C. Potential use of Internet of Things to subsidize Life Cycle Assessment of buildings. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 22., 2018, São Carlos. **Anais** [...] São Carlos: SIGRADI, 2018.

BARROS, N. N.; RUSCHEL, R. C.; SILVA, V. G. da. Impacto da adoção de BIM na avaliação de energia incorporada do ciclo de vida de edificações. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 2015, Viçosa. **Anais** [....] Viçosa: ANTAC, 2015. Disponível em: <http://locus.ufv.br/handle/123456789/6027>. Acesso em: 27 jun. 2017.

BARROS, Natalia Nakamura; SILVA, Vanessa Gomes da. BIM na avaliação do ciclo de vida de edificações: revisão da literatura e estudo comparativo. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 7, n. 2, p. 89–101, 2016.

BILAL, Muhammad et al. Big Data in the construction industry: A review of present status, opportunities, and future trends. **Advanced Engineering Informatics**, v. 30, p. 500–521, 2016.

BSI, British Standards Institution. **BS EN 15978:2011 Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method**. London: BSI, 2011.

CHASE, J. **The evolution of the Internet of Things**. Texas Instrum. Dallas, TX, USA, p.7, 2013

DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel Pacheco; ANTUNES JUNIOR, Jose Antonio Valle. **Design Science Research: A Method for Science and Technology Advancement**. [S.l.]: Springer International Publishing, 2015. .978-3-319-07374-3.

GILCHRIST, A. **Industry 4.0: The Industrial Internet of Things**. Bangken: Apress, 2016.

GOMES, Vanessa; BARROS, Natalia Nakamura. Contribuição da modelagem BIM para facilitar o processo de ACV de edificações completas. **Gestão e Tecnologia de Projetos** v. 13, n. 2, p. 19–34 , 2018.

GUINÉE, J.B. **Handbook on life cycle assessment**. Operational guide to the ISO standards. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. .

ILYAS, M.; ALWAKEEL, S. S.; ALWAKEEL, M. M.; AGGOUNE, E. M. **Sensor Networks for Sustainable Development**. New York: CRC Press, 2014.

MIORANDI, D.; SICARI, S.; PELLEGRINI, F. DE; CHLAMTAC, I. Internet of things: Vision, applications and research challenges. **Ad Hoc Networks**, v. 10, n. 7, p. 1497–1516, 1 set. 2012.

MOHAMMED, M.; KHAN, M. B.; BASHIER, E. B. M. **Machine Learning Algorithms and Applications**. Boca Raton: CRC Press, 2017.

PERERA, C.; ZASLAVSKY, A.; CHRISTEN, P; GEORGAKOPOULO, D. Context Aware Computing for The Internet of Things: A Survey. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 16, n. 1, p. 414–454, 2014.

TAO, F.; ZUO, Y.; XU, L. DA; LV, L.; ZHANG, L. Internet of things and BOM-Based life cycle assessment of energy-saving and emission-reduction of products. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 10, n. 2, p. 1252–1261, maio 2014.

VAISHNAVI. V.; KUECHLER. W.; PETTER. S. **Design Science Research in Information Systems**. [S.l: s.n.], 2017. Disponível em: <http://desrist.org/design-research-in-information-systems/>.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Global Risks Report 2018**. Geneva: [s.n.], 2018.