



Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

## UM FRAMEWORK BASEADO EM NUVEM PARA GESTÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO <sup>1</sup>

**MUNARO, Mayara Regina (1); FREITAS, Maria do Carmo Duarte (2); TAVARES, Sergio Fernando (3)**

**(1)** Universidade Federal do Paraná, munaro.mayara@gmail.com

**(2)** Universidade Federal do Paraná, carmemk2@gmail.com

**(3)** Universidade Federal do Paraná, sergioftavares@gmail.com

### RESUMO

A economia circular (EC) e tecnologias digitais emergentes, como big data e computação em nuvem, podem minimizar os impactos ambientais do setor construtivo ao facilitar a gestão, o acesso e o compartilhamento de dados. Esse artigo propõe um framework conceitual, baseado em uma plataforma em nuvem, que integra os dados da geração de resíduos de construção e demolição (RCD) no município de Curitiba. O framework visa facilitar a gestão e a destinação final ambientalmente correta dos RCD. Desafios técnicos, econômicos e operacionais foram citados considerando a falta de integração da cadeia construtiva, infraestrutura web e de cultura na separação de resíduos. A gestão unificada de dados sobre os RCD favorece a integração da cadeia construtiva, a tomada de decisão e a introdução de tecnologias de informação e comunicação nos modelos de negócios circulares, facilitando a transição do ambiente construído rumo à sustentabilidade.

**Palavras-chave:** Big data, computação em nuvem, resíduos de construção e demolição, economia circular.

### ABSTRACT

The circular economy (CE) and emerging digital technologies, such as big data and cloud computing, can minimize the environmental impacts of the construction sector by facilitating data management, access, and sharing. This article proposes a conceptual framework, based on a cloud platform that integrates data from the generation of construction and demolition waste (CDW) in the municipality of Curitiba. The framework aims to facilitate the management and the environmentally correct disposal of CDW. Technical, economic, and operational challenges were cited considering the lack of integration of the construction chain, web infrastructure, and culture in the separation of waste. The unified management of data on CDW favors the integration of the construction value chain, decision-making and the introduction of information and communication technologies in circular business models, facilitating the transition from the built environment towards sustainability.

**Keywords:** Big data, cloud computing, construction and demolition waste, circular economy.

---

<sup>1</sup> MUNARO, M. R.; FREITAS, M. C. D.; TAVARES, S. F. Um framework baseado em nuvem para gestão de resíduos de construção e demolição. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

## 1 INTRODUÇÃO

A população mundial está aumentando, junto com o poder de consumo e a geração de resíduos. Desde a Revolução Industrial, o modelo linear de crescimento adotado, ao assumir que os recursos são abundantes, disponíveis e descartando-os em seu fim de vida, tem conduzido à contínua delapidação dos recursos e ao crescente aumento de resíduos. A construção civil contribuiu efetivamente com esse cenário, sendo a maior consumidora de recursos e matérias-primas do mundo, responsável por altos índices de geração de resíduos, gases do efeito estufa e de consumir mais de um terço do total de energia do planeta.

Enfrentar a geração de resíduos de construção e demolição (RCD) implica em questões de sustentabilidade ambientais, sociais e econômicas do setor, e leva à mudança de paradigma, ou seja, a economia circular (EC). A EC é um modelo econômico baseado em cadeias de suprimentos em circuito fechado que se concentra em aspectos restauradores e regenerativos. Permite ao sistema industrial adaptar o conceito de 'fim de vida' com restauração, elimina o uso de materiais tóxicos, visa a reutilização e reduz o desperdício, buscando transformar resíduos em recursos (EMF, 2015).

A transição da indústria construtiva para uma EC requer enfoque no pensamento sistêmico, envolvendo modelos e atividades cuja coordenação é importante para a minimização de resíduos e para concluir o projeto no orçamento, tempo e na qualidade desejada, minimizando erros e melhorando as condições de trabalho (AJAYI et al., 2017). Munaro, Tavares e Bragança (2020) constataram que as práticas circulares no ambiente construído ainda estão concentradas na gestão de RCD, a fim de melhorar a eficiência dos recursos e reduzir o impacto ambiental do setor.

Tecnologias emergentes de construção, como a modelagem de informação da construção (BIM), atrelada com a Internet e a computação em nuvem, já estão transformando a forma de gerir os RCD (JIN; YUAN; CHEN, 2019). A computação em nuvem e o big data, vinculados com sistemas ciber-físicos e a Internet das Coisas (IoT), caracterizam o núcleo da Indústria 4.0, cujo objetivo é obter exatidão e precisão, além de alcançar maior grau de automatização nos sistemas de produção (RAJPUT; SINGH, 2019). A indústria 4.0 contribui para uma cadeia de suprimentos sustentável baseada na EC, buscando flexibilidade, auto-organização, segurança, interoperabilidade e incorporação das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) (RAJPUT; SINGH, 2019).

Um desafio no setor construtivo, que impede a aceleração das práticas circulares e limita o potencial de reutilização dos materiais, está na falta de gestão e informação de qualidade (BILAL et al., 2016). O setor gera volumes de dados significativos ao longo do ciclo de vida das edificações, principalmente com a introdução das TICs. O aumento da geração de dados tanto em volume, velocidade e variedade leva ao fenômeno de big data. O big data, associado com a computação em nuvem, visam fornecer e interpretar com eficácia grandes volumes de dados. Em especial, se considerar que a EC prevê a eficiência no uso de materiais e energia, a integração desses campos é facilitadora na co-evolução de novos modelos de negócios circulares.

Para atender essa lacuna da literatura e por meio de pesquisas bibliográficas, este estudo busca integrar a geração de grandes dados e a computação em nuvem na gestão de RCD. Um *framework* conceitual foi proposto visando explorar a relação de big data e a computação em nuvem na gestão dos RCD. O *framework* propõe o desenvolvimento de uma plataforma em nuvem que integra os dados da geração

de resíduos de construções, reformas, reparos e demolições no município de Curitiba/PR para facilitar a gestão e a fiscalização pública da destinação final desses resíduos. Espera-se que a pesquisa motive futuros estudos e desenvolvimentos no campo da gestão pública, ampliando a integração entre a indústria, setor privado e a pesquisa científica

## 2 O BIG DATA E A COMPUTAÇÃO EM NUVEM

O termo *big data* tem sido identificado como a próxima revolução gerencial (MCAFEE; BRYNJOLFSSON, 2012). Pode ser definido como conjuntos de dados complexos e de alta velocidade cujo tamanho está além da capacidade de ferramentas típicas de banco de dados de capturar, armazenar, distribuir, gerenciar e analisar com eficiência e que permitem melhor percepção, tomada de decisões e automação de processos (TECHAMERICA FOUNDATION, 2012). Não é uma tecnologia, mas um fenômeno resultante da grande quantidade de informações brutas geradas na sociedade e coletadas por organizações comerciais e governamentais (TECHAMERICA FOUNDATION, 2012).

A análise de *big data* sobre os dados gerados em construções, reformas e demolições oferece oportunidades para minimizar o desperdício da construção civil por meio de projetos de integração das cadeias de valor do setor (BILAL et al., 2016). A combinação de sistemas ou *softwares* com a tecnologia em nuvem forma uma rede com a capacidade de armazenar grandes volumes de dados e realizar análises de *big data* (CHEN; CHANG; LIN, 2016). Essa combinação facilita o armazenamento e o gerenciamento de dados referentes aos RCD.

A computação em nuvem é uma tendência da computação na Internet que objetiva fornecer acesso ao armazenamento e à computação de dados à vários usuários, sem recorrer a licenças individuais (TALHA et al., 2017). Essa tecnologia traz benefícios, incluindo colaboração em tempo real, menor custo, flexibilidade, velocidade, mobilidade e segurança de dados.

A computação em nuvem está apoiando a coordenação de tarefas na aplicação baseada em BIM (BILAL et al., 2016). Os exemplos incluem gestão de cidades inteligentes, coordenação de *stakeholders*, análise estrutural e gestão de resíduos. BILAL et al. (2016) investigaram o desenvolvimento de um *plug-in* para prever e minimizar o desperdício da construção utilizando análise de *big data*. LU et al. (2015) compararam o desempenho dos setores públicos e privados na gestão de RCD por meio de *big data*. Também se encaixa com os planos de governos de implementar cidades inteligentes e de desenvolver aplicativos que estão sendo incluídos nas políticas de telecomunicações (TALHA et al., 2017).

## 3 AS POLÍTICAS PÚBLICAS DE RESÍDUOS NO BRASIL E EM CURITIBA

Atividades de demolição e construção produzem de 50% a 70% do lixo encaminhado para aterros sanitários nas cidades brasileiras (IPEA, 2012). Estima-se que, a cada metro quadrado construído no Brasil, 150 kg de resíduos sejam gerados (KARPINSK et al., 2009). Em relação ao manejo de resíduos de construção civil (RCC), 72% dos municípios brasileiros apresentam serviços e apenas 9,7% possuem alguma forma de processamento. Destaca-se que a prefeitura ainda é o principal agente operador das unidades de reciclagem e dos aterros (IPEA, 2012).

No Brasil, as políticas públicas voltadas ao gerenciamento de RCC buscam impulsionar as empresas geradoras de resíduos a implementar medidas que visem a

redução da quantidade de resíduos, as quais, ainda não são usuais no setor (FIEB, 2007). A principal ação efetivada em termos legais foi a publicação da Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Em vigor desde 2003, prioriza a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final. Também determina a elaboração do Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, que envolve o estabelecimento de processos necessários para o manejo e destinação ambientalmente adequado dos resíduos (BRASIL, 2002).

Em Curitiba-PR, a partir de 2009, foi proibida a entrada de resíduos provenientes de grandes geradores no aterro sanitário. O aterro passou a receber exclusivamente resíduos sólidos coletados pelos serviços públicos de limpeza (CURITIBA, 2017). Em 2010, com o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, os geradores de até 0,5 m<sup>3</sup> de RCC Classe A e C teriam a coleta pública no local, mediante solicitação. Os resíduos cujo volume ultrapassa essa quantidade devem ter coleta e destinação contratadas pelo gerador. Este serviço é executado por empresas contratadas e os resíduos são encaminhados às empresas que realizam o processamento desse material (CURITIBA, 2017).

Os Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) devem contemplar a caracterização, triagem, acondicionamento, transporte e destinação ambientalmente adequados dos resíduos (BRASIL, 2002). Para o controle mais efetivo dos projetos, foi instituído o Relatório de Gestão de Resíduos da Construção Civil, documento cuja aprovação é condicionante para a emissão da Licença de Operação (LO) e/ou o Certificado de Vistoria de Conclusão de Obra (CVCO). Nesse relatório, os geradores devem apresentar a comprovação do gerenciamento de RCC do empreendimento, mediante os Manifestos de Transporte de Resíduos (MTR) por transportadora licenciada e certificados de destinação final dos resíduos (CURITIBA, 2017).

A proposta de implantação de um serviço de gerenciamento de RCD em nuvem no município de Curitiba busca contribuir com as políticas públicas vigentes e adotar princípios circulares no setor. Curitiba é uma das capitais brasileiras mais importantes em termos de políticas públicas de gestão de resíduos. Além disso, o gerenciamento adequado de RCD encontra obstáculos pelo desconhecimento da natureza dos resíduos e pela ausência de cultura de separação (FIEB, 2007).

#### **4 FRAMEWORK BASEADO EM NUVEM PARA GESTÃO DE RCD**

O *framework* proposto envolve uma base de dados digital alimentada por diferentes usuários para rastrear e facilitar a coleta de RCD em diferentes locais no município de Curitiba. Por meio de cadastros *online*, os empreendedores, contratantes, consultores de engenharia ou arquitetos, empresas de construção e de infraestrutura, engenheiros de obra, indústrias recicladoras, empresas de transporte e a Prefeitura Municipal, podem visualizar os dados da geração de RCD no município em tempo real. Uma plataforma Web será disponibilizada em computadores, *laptops*, *tablets* e celulares conectados à Internet a qualquer hora e lugar. A figura 1 mostra a arquitetura do *framework* proposto.

Figura 1 – *Framework* baseado em nuvem integrando diferentes autores na gestão de resíduos de construção e demolição



Fonte: Os autores

O *framework* propõe uma nuvem híbrida em uma plataforma de serviços de fácil operabilidade, implantável, escalável e de baixo custo. O armazenamento, processamento, acesso, governança, segurança e operações de dados pode ser fornecido por plataformas de *software* aberto, como a Hadoop. Além de uma estação em nuvem de monitoramento e notificação, o sistema inclui uma aplicação *android* instalada em telefones celulares ou *tablets* de usuários para permitir o acesso e atualização dos dados. O sistema considera três fases de implementação:

- Desenvolvimento de módulo de *software* e *hardware* no servidor central da nuvem: este módulo receberá e armazenará atualizações em tempo real de todas as obras públicas e privadas cadastradas e exibirá continuamente no aplicativo da Web, enviando notificações no aplicativo móvel;
- Desenvolvimento de aplicativo móvel: o aplicativo móvel mostrará a localização atual das obras e a situação em tempo real das retiradas de RCD pelos motoristas de caminhão de coleta especializada;
- Geração e exibição de rota otimizada: o aplicativo poderá definir os melhores trajetos para o transporte de RCD.

A conectividade da plataforma desempenhará papel importante rumo às cidades inteligentes, permitindo acesso e a interconexão entre setores distintos da cadeia construtiva. A tecnologia de computação em nuvem proporcionará o armazenamento de dados e a visualização geográfica dos pontos de obras, reparos, reformas e demolições na cidade. Os dados sistematicamente armazenados em um banco de dados possibilitarão diferentes análises de uso. Por exemplo, em análises estatísticas, ampliando a confiabilidade nos planos de orçamento, transporte e custos associados à geração de RCD.

Para a Prefeitura Municipal de Curitiba, a plataforma pode auxiliar e facilitar a gestão pública dos RCD. O controle de pedidos de retirada de caçambas de RCD inferiores a 0,5 m<sup>3</sup> poderia ser realizado diretamente pelo sistema, facilitando a comunicação da prefeitura com as empresas prestadoras de serviço. Além disso, as indústrias

recicladoras e as empresas de transporte de RCD para se cadastrar na plataforma e ter acesso as demandas de serviços precisariam ter Certificações e licenças ambientais adequadas. Logo, aumentaria a fiscalização ambiental do setor, além de assegurar a destinação ambientalmente correta das classes de resíduos.

Um dos objetivos do *framework* proposto é realizar simbioses industriais com base nos estabelecimentos existentes na cadeia de negócios da construção civil, aproveitando o número e variedades de indústrias / instituições. Os projetistas e engenheiros de obra poderiam integrar os dados do BIM na plataforma, permitindo o armazenamento e a análise de conjuntos de dados, ao mesmo tempo em que prevê e projeta o desperdício da construção (BILAL et al., 2016). Para as construtoras, indústrias de reciclagem e empresas de transporte a plataforma facilitaria a solicitação de serviços e agilizaria a liberação da documentação necessária no transporte de RCD. O aplicativo móvel auxiliaria no sistema de navegação e na escolha de rotas aos transportadores, evitando viagens desnecessárias, reduzindo desperdício de tempo e recursos.

A gestão desta plataforma ficaria à cargo da Prefeitura Municipal que poderia contratar serviços terceirizados para a operação do sistema. Dessa forma, seria um novo modelo de negócio com oportunidades de emprego, qualificação e automação dos sistemas públicos e do setor construtivo.

#### 4.1 Desafios e oportunidades do *framework* proposto

O *framework* propõe aumentar a sustentabilidade do setor construtivo, fundamentado na reinserção dos resíduos nas cadeias de produção e consumo. Com isso, maximiza o valor dos fluxos recuperados e explora modelos de negócios de reuso e reciclagem de RCD. O Quadro 1 sumariza as principais aplicações do *framework*, suas vantagens e limitações.

Quadro 1 – Principais aplicações, vantagens e limitações do *framework*

Aplicação	Uso	Vantagens	Limitações
<b>Acesso e disponibilidade de dados</b>	Gestão de RCD	Clareza, confiabilidade e padronização da informação	Inserção correta de dados; operação correta do aplicativo; constante atualização dos dados
<b>Comunicação em tempo real</b>	Agilidade na solicitação de serviços	Otimização nos fluxos de resíduos, informações e de documentos	Constante atualização dos dados; infraestrutura de serviços Web e wireless; capacidade de armazenamento da nuvem
<b>Integração da cadeia construtiva</b>	Geração de novos modelos de negócios	Reinserção dos resíduos nas cadeias produtivas; novas formas de aproveitamento de RCD; simbioses industriais	Falta de colaboração fiscal; cadeia da construção fragmentada; ineficiência na separação de resíduos
<b>Controle e rastreabilidade de resíduos</b>	Destinação final correta	Aumento de reciclagem / reuso dos resíduos; menor pressão sobre aterros; gestão eficiente de rotas	Poucas indústrias recicladoras; algumas classes de resíduos não são consideradas; falta de modelos de negócios de reuso
<b>Histórico e base de dados</b>	Inteligência de serviços	Inteligência de mercado; previsão de comportamentos futuros; auxílio na elaboração dos PGRCCs	Capacidade de armazenamento da nuvem

Fonte: Os autores

Como explora o Quadro 1, a plataforma na gestão de RCD concentra-se nas propriedades da cadeia de transporte e destinação final, incluindo agilidade, adaptabilidade, alinhamento e integração. Na análise de mercados, pode ser aplicada na pesquisa de novas tecnologias e serviços, na gestão e coordenação de equipes, na clareza e autenticidade das informações, na avaliação do usuário, entre outros modelos de negócios. Métodos específicos baseados em estatística, mineração de dados e ferramentas de gestão precisam ser desenvolvidos para auxiliar na análise dos dados e na criação de indicadores que facilitarão a compreensão e criação de conhecimento.

Desafios técnicos e econômicos existem na obtenção de maior integração das partes interessadas na cadeia da construção civil, principalmente considerando a escala e a complexidade de uma cidade como Curitiba. Holisticamente, inclui dificuldade na obtenção de informações suficientes, por exemplo, descrições qualitativas e quantitativas de RCD; viabilidade técnica entre a retirada e processamento dos resíduos; viabilidade econômica, ambiental e operacional da utilização dos fluxos de RCD em outros processos industriais.

No Brasil, é incipiente a quantidade de empresas de construção civil que fazem a gestão de resíduos em canteiro de obra e desenvolvem ações planejadas para redução da geração de resíduos. A segregação, acondicionamento e disposição final qualificada dos resíduos ainda não são realizados de forma adequada e integrada às atividades produtivas do canteiro de obra (FIEB, 2007). A criação e manutenção de parâmetros e procedimentos em obra para a gestão diferenciada dos resíduos são fundamentais para assegurar o transporte e destinação final adequado.

## 5 CONCLUSÕES

O *framework* proposto neste estudo visou integrar *stakeholders* do setor construtivo e estimular simbioses industriais em uma plataforma de comunicação direta para garantir a gestão e a destinação ambientalmente correta de RCD. A plataforma aponta oportunidades de modelos de negócios voltados à novas formas de reuso e reciclagem de RCD; facilita e agiliza a comunicação e os serviços entre construtores, transportadores e recicladores; garante maior fiscalização dos órgãos públicos e introduz perspectivas circulares na cadeia construtiva.

Evidencia-se que o desenvolvimento da plataforma encontra desafios técnicos, econômicos e operacionais. A indústria construtiva é fragmentada e possui dificuldades na triagem e reinserção dos RCD. Explorar novas formas de reinserir esses resíduos depende de leis e estímulos fiscais. O apelo por infraestrutura de serviços web e *wireless* também é essencial para garantir o pleno funcionamento da plataforma. Embora o setor gere quantidades maciças de dados ao longo do ciclo de vida de um edifício, a adoção de *big data* e computação em nuvem ainda é incipiente. Esse estudo apresenta relevância para os pesquisadores e profissionais da construção desenvolver futuras pesquisas em TIC na gestão de RCD, criando novos modelos de negócios circulares.

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Universidade Federal do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil pelo apoio no desenvolvimento dessa pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- AJAYI, Saheed O. et al. Attributes of design for construction waste minimization: A case study of waste-to-energy project. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 73, p. 1333-1341, 2017.
- BILAL, Muhammad et al. Big data architecture for construction waste analytics (CWA): A conceptual framework. **Journal of Building Engineering**, v. 6, p. 144-156, 2016.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução Conama no 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da União**, Brasília, 17 jul. 2002.
- CHEN, Hung-Ming; CHANG, Kai-Chuan; LIN, Tsung-Hsi. A cloud-based system framework for performing online viewing, storage, and analysis on big data of massive BIMs. **Automation in Construction**, v. 71, p. 34-48, 2016.
- CURITIBA, Prefeitura Municipal de Curitiba. **Plano Municipal de saneamento básico - Volume IV: Plano de gestão integrada de resíduos sólidos de Curitiba**. Curitiba, 2017.
- EMF ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Growth within: a circular economy vision for a competitive Europe**. Ellen MacArthur Foundation, 2015.
- FIEB FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DA BAHIA. **Gestão de resíduos na construção civil: redução, reutilização e reciclagem**. Senai, Sebrae, GTZ, 2007.
- IPEA. **Diagnóstico dos resíduos sólidos da construção civil**, Relatório de Pesquisa. Brasília, 2012.
- JIN, Ruoyu; YUAN, Hongping; CHEN, Qian. Science mapping approach to assisting the review of construction and demolition waste management research published between 2009 and 2018. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 140, p. 175-188, 2019.
- KARPINSK, Luisete et al. **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental**. Porto Alegre: Edipucrs, 2009. 163 p.
- LU, Weisheng et al. Analysis of the construction waste management performance in Hong Kong: the public and private sectors compared using big data. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 521-531, 2016.
- MCAFEE, Andrew; BRYNJOLFSSON, Erik. Big data: the management revolution. **Harvard business review**, v. 90, n. 10, p. 60-68, 2012.
- MUNARO, Mayara Regina; TAVARES, Sérgio Fernando; BRAGANÇA, Luís. Towards circular and more sustainable buildings: A systematic literature review on the circular economy in the built environment. **Journal of Cleaner Production**, p. 121134, 2020.
- RAJPUT, Shubhangini; SINGH, Surya Prakash. Connecting circular economy and industry 4.0. **International Journal of Information Management**, v. 49, p. 98-113, 2019.
- TALHA, Mohd et al. A cloud integrated wireless garbage management system for smart cities. In: **2017 International Conference on Multimedia, Signal Processing and Communication Technologies (IMPACT)**. IEEE, 2017. p. 175-179.
- TECHAMERICA FOUNDATION. **Demystifying Big Data: a practical guide to transforming the business of government**. Washington, DC, 2012.