

Otimização da gestão de resíduos sólidos na construção civil por meio de modelagem matemática aplicando a tecnologia *BIM*

Vinicius Augusto Castelo Branco Mateus (Universidade Federal do Amazonas) vacbm_18@hotmail.com
Armando Araújo de Souza Júnior (Universidade Federal do Amazonas) armando-jr07@bol.com.br

Resumo: Verifica-se a legislação mais rígida no que se refere ao meio ambiente – tendência mundial que visa minimizar ao máximo a sua degradação e a preservação de uma vida mais saudável. Porém não é suficiente para atender a necessidade de diminuição de geração de resíduos e aumento de reciclagem se não vier acompanhado por uma gestão de resíduos sólidos eficiente por parte dos geradores. O objetivo geral deste artigo é apresentar uma proposta de gestão de resíduos sólidos na construção civil cujo o ponto de partida é a elaboração dos projetos arquitetônico e complementares (estrutural, hidrossanitário e elétrico) por meio da tecnologia de Modelagem da Informação da Construção – *BIM*. A partir daí, a lista gerada de materiais para construção torna-se os dados de entrada de um modelo matemático de estimativa capaz de quantificar os resíduos gerados no canteiro de obra na fase de projetos, possibilitando assim, um melhor planejamento da gestão dos resíduos antes de iniciar a execução da obra. A precisão de estimativa do desperdício pode ser aprimorada melhorando o nível de detalhamento dos materiais utilizados na construção, ou incorporando o conhecimento das construtoras e buscando dados históricos. Essa experiência e o conhecimento de projetos similares podem efetivamente ajudar a determinar os níveis adequados de desperdício, possibilitando a identificação de melhorias para gerenciar os fluxos de resíduos mais significativos.

Palavras chave: Gestão de Resíduos Sólidos, Construção Civil, Tecnologia *BIM*, Modelagem Matemática.

Optimization of solid waste management in construction through mathematical modeling using *BIM* technology

Abstract: There is stricter legislation regarding the environment - a worldwide trend that aims to minimize its degradation and the preservation of a healthier life. However, it is not sufficient to meet the need for reduced waste generation and increased recycling if not accompanied by efficient solid waste management by generators. The general objective of this paper is to present a proposal of solid waste management in construction whose starting point is the elaboration of architectural and complementary projects (structural, water and electrical) through the Building Information Modeling technology - *BIM*. From there, the generated building materials list becomes the input data of a mathematical estimation model capable of quantifying the waste generated on the construction site at the design stage, thus enabling better waste management planning before to start the work. Waste estimation accuracy can be improved by improving the level of detail of materials used in construction, or by incorporating the knowledge of builders and seeking historical data. This experience and knowledge of similar projects can effectively help determine the appropriate levels of waste, enabling improvements to be identified to manage the most significant waste streams.

Key-words: Solid Waste Management, Building, *BIM* Technology, Mathematical Modeling.

1. Introdução

Atualmente, o grande desafio global é estabelecer planos e diretrizes capazes de nortear os construtores para o desenvolvimento de uma gestão adequada de controle e tratamento de resíduos sólidos.

Para alcançar esse objetivo, a Organização das Nações Unidas – ONU (2015) por meio da Agenda 2030 define que uma das metas é reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso. Dessa forma, uma das indústrias que passa a ser afetada diretamente é da construção civil, pois apesar dos benefícios proporcionados à sociedade, como geração de empregos, melhoria na qualidade de vida por meio de construções de moradias, reformas em infraestrutura pública e outros, tornou-se uma preocupação mundial devido a grande quantidade de resíduos gerados que acarretam impactos no meio ambiente, na sociedade e na economia de um país (SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL - SINDUSCON, 2005).

Quanto às alternativas para gestão de resíduos, existe um enorme potencial associado à reciclagem, que pode ser explorada empregando-se estratégias de manejo adequadas e introduzindo tecnologias inovadoras que permitem que os resíduos da construção sejam reciclados de acordo com sua qualidade e uso.

Estudos recentes, tais como Olugbenga, Lukumon e Saheed (2018) e Liu, Osmani e Demian (2015), abordam sobre a utilização de novas tecnologias na gestão de resíduos, tal como a tecnologia *Building Information Modeling – BIM*, porém ressaltam que a maioria das ferramentas de gerenciamento de resíduos da construção existentes ainda não tem a funcionalidade *BIM*, dificultando sua aplicação no canteiro de obra.

Cheng e Ma (2013) e Li e Zhang (2013) também apresentaram uma pesquisa sobre modelos matemáticos aplicados à gestão de resíduos sólidos, que são capazes de prever o quantitativo de resíduos que serão gerados na construção, permitindo que os empreiteiros identifiquem processos críticos de geração de resíduos e planejem estratégias de controle de resíduos.

Ainda segundo os autores, apesar das dificuldades de gerir os resíduos da construção desde a sua identificação até o descarte final, a indústria da construção deverá ser capaz de responder às mudanças que o mundo está constantemente enfrentando. Porém, é preciso de legislações rigorosas que restrinjam o descarte em aterros e, ao mesmo tempo, promovam incentivos para encorajar construtores a reciclar seus resíduos.

O objetivo geral deste artigo é apresentar uma proposta de gestão de resíduos sólidos na construção civil. Para isso, este trabalho está dividido em cinco partes, incluindo esta introdução. Na segunda parte é apresentado o referencial teórico. A terceira parte refere-se a metodologia, em seguida, a quarta parte descreve a análise dos resultados e nas conclusões são apresentadas as contribuições deste estudo e as considerações finais.

2. Referencial Teórico

2.1. Resíduos Sólidos da Construção Civil

Para o presente artigo foram adotadas as definições e classificações de resíduos da construção civil fundamentada sob a legislação brasileira. Dessa forma, para o planejamento, elaboração e execução de uma gestão de resíduos eficaz, primeiramente é preciso definir o conceito de resíduos sólidos, identificá-los, depois separá-los por categorias ou classes de modo que possam ser tratados adequadamente, e por último, reciclá-los, reutilizá-los e ou descartá-los.

Segundo a Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, os resíduos da construção civil devem ser identificados e separados conforme apresentado na Figura 1. A classificação é dividida em quatro Classes: A, B, C e D.

	CARACTERÍSTICA DO MATERIAL	EMPREENHIMENTO ISI QUALIFICADO (A) A RECEBER
CLASSE A	são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras.	 Usina de Reciclagem de RCD ABNT 15114/2004  Aterro de Inertes ABNT 15113/2004  Área de Transbordo e Triagem – ATT ABNT 15112/2004
CLASSE B	são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidro, madeiras, EMBALAGENS VAZIAS DE TINTAS IMOBILIÁRIAS e gesso. [redação Resolução nº 469/15]	 Usina de Reciclagem de RCD ABNT 15114/2004  Área de Transbordo e Triagem – ATT ABNT 15112/2004  Aterro Sanitário ABNT 15849/2010
CLASSE C	são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnológicas ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação; [redação dada pela Resolução nº 431/11].	 Aterro Sanitário ABNT 15849/2010  Aterro de Resíduos Não Perigosos ABNT 13896/1997
CLASSE D	São resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. [redação dada pela Resolução nº 431/11].	 Aterro de Resíduos Perigosos ABNT 10157/1987

 Observação: § 1º No âmbito dessa resolução consideram-se embalagens vazias de tintas imobiliárias, aquelas cujo recipiente apresenta apenas filme seco de tinta em seu revestimento interno, sem acúmulo de resíduo de tinta líquida.

Fonte: Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição – ABRECON, 2018.

Figura 1 – Classes de Resíduos da Construção Civil

Apesar da importância de identificação e separação dos resíduos sólidos na fase da construção, essas etapas não são suficientes para garantir uma gestão de resíduos eficaz. Também é necessário identificar as principais atividades no canteiro de obra que geram o maior volume de resíduos para que possam ser mitigadas, gerando impactos positivos para os stakeholder.

2.2 Modelos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Construção Civil

Segundo Mhaske, Darade e Khare (2017), para reduzir os impactos ambientais gerados pelos resíduos da construção civil, é necessário compreender o processo de geração para posteriormente utilizar técnicas capazes de torna a gestão dos resíduos efetiva, tais como: plano de gerenciamento de resíduos, tecnologia *BIM* e 3R (Reduzir, Reutilizar e Reciclar).

Primeiramente é necessário entender o seu conceito fundamental e de acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente do Brasil – CONAMA, por intermédio da Resolução nº307 (2002), gestão de resíduos da construção civil é definida como sendo um conjunto de ações voltadas para todas as etapas, desde a sua origem: identificação e separação, até a destinação final ambientalmente adequada conforme o plano de gerenciamento de resíduos

sólidos exigido por legislação.

Uma forma de gerenciar resíduos, é mitigar os impactos negativos ainda na fase de projetos, ao invés de tomar ações e buscar soluções apenas para etapa final do processo de geração de resíduos durante a execução da obra. Para Lu et al. (2017), a aplicação da tecnologia *BIM* na gestão de resíduos, tendo como pré-requisitos principais um algoritmo computacional e a prontidão da informação, é capaz de manipular as informações de modo a facilitar a melhor tomada de decisão para a gestão de resíduos ainda na fase de projetos. A aplicação do *BIM* como um ambiente computacional, virtual e menos caro, permite que os projetistas ponderem entre diferentes tipos de projetos e avaliem diferentes cenários de construção visando minimizar a geração de resíduos.

Seguindo essa linha, a modelagem matemática também pode ser aplicada à gestão de resíduos sólidos, Cheng e Ma (2013) propõem um sistema baseado no *BIM* capaz de prever o quantitativo de resíduos que serão gerados na construção, permitindo que os empreiteiros identifiquem processos críticos de geração de resíduos e planejem estratégias de controle de resíduos. Esse sistema pode extrair informações de volume e material, além de considerar a reciclagem e reutilização desses resíduos.

Para mais, Li et al. (2016) apresenta um modelo matemático de estimativa de quantidade de resíduos da construção civil de modo que possa prever o quantitativo de vários tipos de resíduos gerados a partir de projetos executivos, rastreando suas origens e dando suporte aos construtores para melhorar sua gestão de resíduos no canteiro de obra.

Ainda segundo autores, esse modelo não é capaz apenas de quantificar, mas também de identificar a atividade que gera o resíduo. A metodologia usada, aplica o princípio do balanço de massa e análise de fluxo de material para identificar o processo de geração de resíduos por diferentes tipos de materiais. Além disso, o modelo utiliza taxa de conversão para calcular o peso e o volume dos resíduos auxiliando na sua logística. Dessa forma, a estimativa mostra o nível de desperdício em cada etapa da construção, permitindo um melhor controle da geração de resíduos.

Assim, tomando como partida as informações geradas pela tecnologia *BIM*, essas são reorganizadas dentro de uma Estrutura Analítica de Projeto – EAP, de forma que diferentes processos da construção possam ser representados.

Essa estrutura organizacional é dividida em quatro níveis: o primeiro nível é classificado por Sistemas, o segundo é designado por Componentes, o terceiro é representado por Elementos e no quarto nível encontram-se os Subelementos. Essa divisão por níveis facilita a identificação da quantidade de material necessária para cada atividade e etapa de execução da obra.

Além da EAP, esse modelo aplica o Princípio de Conservação da Massa e a Análise de Fluxo de Materiais para investigar o processo de geração de resíduos para diferentes tipos de materiais.

Apesar da diversidade de modelos e gestões de resíduos da construção civil, não é suficiente, dominar as técnicas capazes de implementá-los adequadamente e ou por meio de avanços tecnológicos desenvolver métodos sofisticados para prever e mitigar os impactos da geração de resíduos da construção civil, se essas ações não vierem acompanhadas de políticas públicas que demonstrem uma efetiva preocupação com a geração de resíduos e que norteiem os envolvidos rumo à sustentabilidade.

3. Metodologia

Nesse capítulo serão apresentadas as etapas que estruturaram a operacionalização deste artigo: elaboração dos projetos construtivos utilizando tecnologia *BIM*, quantificação dos materiais, aplicação do modelo matemático para estimar a geração de resíduos, identificação dos requisitos legais e técnicos para subsidiar o desenvolvimento do plano de gerenciamento de resíduo sólidos na construção civil.

Todas essas etapas foram desenvolvidas em cima do estudo de caso único: construção das Casas Geminadas localizadas no Loteamento Tropical na Rua das Avestruzes, Quadra 640 e Lote 071, na Cidade de Porto Velho-RO.

A área total construída foi de 149m² em um terreno de 300m² de forma retangular com dimensões de 12x25m e as residências possuem dois pavimentos.

Para elaboração dos projetos foi definido que a construção é de concreto armado, com vedações em alvenaria convencional e sua fundação foi feita em sapatas de concreto armado.

Para elaboração do projeto arquitetônico utilizou-se o *software Autodesk Revit 2019* e para os projetos estrutural, elétrico e hidrossanitário das Casas Geminadas optou-se pelo *software Eberick 2019*. Ambos os *softwares* possuem certificação da *Building Smart International* garantindo a conformidade com as normas estabelecidas, ou seja, as informações são compartilhadas por meio de um formato de dados padrão, denominado *Industry Foundation Classes – IFC*, que é um formato específico de dados, que permite o intercâmbio de um modelo *BIM*, sem perda ou distorção de dados ou informação, possibilitando a compatibilização dos projetos.

Com todos os projetos modelados em *software BIM*, a próxima etapa foi a compatibilização dos projetos para detectar os conflitos.

O procedimento adotado explorou a interoperabilidade proposta pelo *BIM*, gerando um arquivo *IFC* de cada um dos projetos a partir dos *softwares* utilizados. Esses arquivos *IFC* foram importados em outro *software* gratuito focado na visualização e checagem de conflitos em modelos *BIM*, o *Tekla BIM Sight*, para então realizar-se a compatibilização e sanar as interferências.

Após elaboração dos projetos e sanadas as interferências geoespaciais, a próxima etapa cumprida foi a quantificação dos materiais ou objetos.

Segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção – CBIC (2016), a extração automática de todas as quantidades de serviços e componentes dos modelos *BIM* é uma das funcionalidades mais utilizadas por aqueles que começam a utilizar a plataforma. Ela garante consistência, precisão e agilidade de acesso às informações das quantidades, que poderão ser divididas e organizadas (ou agrupadas) de acordo com as fases definidas no planejamento e na programação de execução dos serviços.

Finalizada a parametrização dos objetos em cada modelagem, o passo seguinte foi a extração da lista de materiais.

Para atender o modelo matemático de estimativa de resíduos sólidos da construção civil proposto por Li et al. (2016), a tabela de quantitativo de material foi reorganizada conforme o *UNIFORMAT II*, que é um sistema de classificação padrão das informações da construção, onde elementos comuns da construção são definidos com base em suas funções, independentemente de suas especificações de design, materiais utilizados e método de

construção aplicados (Charette e Marshall, 1999).

Além de atender esse sistema de classificação das informações da construção, a lista de materiais é gerada para subsidiar o desenvolvimento do plano de gestão de resíduos sólidos da construção das residências geminadas, dessa forma, alguns materiais foram excluídos propositalmente, uma vez que não geram resíduos, e outros agrupados, como por exemplo, os diversos tamanhos e diâmetros de tubos de PVC (Nível 4 – Subelementos), que foram agrupados num único item “TUBOS PVC” quando cada Nível 3 (Elementos) exigia esse tipo de material na sua subdivisão.

Os agrupamentos ocorreram, pois quando se trata de contabilizar o quantitativo de resíduos gerados, o tamanho e geometria dos materiais são irrelevantes, levando em consideração apenas o tipo de material que foi utilizado para fabrica-los e o peso.

Dessa forma, o plano de gerenciamento contemplará os tipos de resíduos gerados, os quantitativos e identificará a fase da obra que eles são produzidos. Com isso, o plano conseguirá definir quais das três as ações: reciclar, reutilizar e descartar, será mais adequada como destinação final, considerando os impactos sócio-econômico e ambiental.

4. Análise de Resultados

Nessa etapa, aplicou-se o modelo matemático proposto por Li et al. (2016) que foi apresentado no Referencial Teórico na seção sobre modelos de gerenciamento de resíduos sólidos da construção civil.

A partir da modelagem dos projetos construtivos por meio da tecnologia *BIM*, foi possível extrair a lista de materiais e organiza-la conforme *UNIFORMAT II*, onde cada tipo de material foi quantificado com sua respectiva unidade de medida como mostra a Tabela 1. Dessa forma, fez-se necessário a utilização de taxas de conversão para transformar as várias unidades de medidas em uma única medida. Nesse artigo foi mantido a linha de trabalho conforme Li et al. (2016), onde a massa medida em Quilograma (kg) foi adotada como unidade de medida única. A Tabela 2 apresenta a taxa de conversão para cada material e a Tabela 3 mostra a lista de materiais utilizada nos projetos das Casas Geminadas convertida para Quilograma (Kg).

Para os Materiais de Construção, a maioria deles é consumido na entrega de determinados Elementos de Construção e apenas uma pequena parcela se torna desperdício devido ao manuseio inadequado e sobras. Já o Material de Embalagem e os Extraídos, a maioria é descartado como resíduo de construção. E os Elementos de Construção Alvo se tornam resíduos quando não são mais necessários ao projeto.

NÍVEL 1 (SISTEMAS)	NÍVEL 2 (COMPONENTES)	NÍVEL 3 (ELEMENTOS)	NÍVEL 4 (SUBELEMENTOS)	QUANTITATIVO
INFRAESTRUTURA	FUNDAÇÃO	FUNDAÇÃO PADRÃO	AÇO CA 50	147,1 KG
			SACO DE CIMENTO	74 SACOS
			CIMENTO	3.700KG
			AREIA	5,58 M ³
			BRITA	8,19 M ³

			SOLO EXTRAÍDO	45,44 M ³
			PREGO	1 KG
			TÁBUA DE MADEIRA	22,9 M ²
			SACO DE CIMENTO	72 SACOS
DIVISÃO	SUPERESTRUTURA	CONSTRUÇÃO DO PISO	CIMENTO	3.600 KG
			AREIA	9,49 M ³
			BRITA	13,45 M ³
			LATA DE TINTA INTERNA (18L)	10 GALÕES
INTERIORES	ACABAMENTO INTERNO	ACABAMENTO PAREDE	TINTA INTERNA	180 L
			LATA DE MASSA CORRIDA (18L)	6 GALÕES
			MASSA CORRIDA	108 L
			TUBOS PVC	99,29 M
	HIDRAÚLICA	DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	SOLO EXTRAÍDO	1 M ³
SERVIÇOS			CABO DE COBRE	1702,9 M
	ELÉTRICA	ILUMINAÇÃO E FIAÇÃO	ELETRODUTO PVC FLEXIVEL CORRUGADO	324,2 M

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Tabela 1 – Quantitativo de Materiais das Casas Geminadas conforme UNIFORMAT II

TIPOS DE MATERIAL	UNIDADE	TAXA DE CONVERSÃO (KG)
AÇO CA 50	KG	1,0
SACO DE CIMENTO	UNIDADE	0,314
CIMENTO	KG	1,0
AREIA	M ³	1.500
BRITA	M ³	1.400
SOLO EXTRAIDO	M ³	1.800
TÁBUA DE MADEIRA	M ³	23,4
PREGO	KG	1,0
TIJOLO CERÂMICO	UNIDADE	1,9
LATA DE TINTA	UNIDADE	1,0
LATA DE MASSA CORRIDA	UNIDADE	1,0
TINTA	L	1.360
MASSA CORRIDA	L	1.600
TUBO PVC	M	0,25
CABO DE COBRE	M	0,036

ELETRODUTO FLEXÍVEL
M
0,099

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Tabela 2 – Taxa de conversão dos Materiais das Casas Geminadas

NÍVEL 1 (SISTEMAS)	NÍVEL 2 (COMPONENTES)	NÍVEL 3 (ELEMENTOS)	NÍVEL 4 (SUBELEMENTOS)	QUANTITATIVO
INFRAESTRUTURA	FUNDAÇÃO	FUNDAÇÃO PADRÃO	AÇO CA 50	147,1 KG
			SACO DE CIMENTO	23,24 KG
			CIMENTO	3.700KG
			AREIA	8.370 KG
			BRITA	11.466 KG
			SOLO EXTRAÍDO	81.792 KG
			PREGO	1 KG
			TÁBUA DE MADEIRA	535,86 KG
DIVISÃO	SUPERESTRUTURA	CONSTRUÇÃO DO PISO	SACO DE CIMENTO	22,61 KG
			CIMENTO	3.600 KG
			AREIA	14.235 KG
			BRITA	18.830 KG
INTERIORES	ACABAMENTO INTERNO	ACABAMENTO PAREDE	LATA DE TINTA INTERNA	10 KG
			TINTA INTERNA (18L)	244,80 KG
			LATA DE MASSA CORRIDA (18L)	6 KG
			MASSA CORRIDA	1172,8 KG
SERVIÇOS	HIDRAÚLICA	DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	TUBOS PVC	25,04 KG
			SOLO EXTRAÍDO	1.800 KG
	ELÉTRICA	ILUMINAÇÃO E FIAÇÃO	CABO DE COBRE	61,4 KG
			ELETRODUTO PVC FLEXIVEL CORRUGADO	32,01 KG

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Tabela 3 – Quantitativo de Materiais das Casas Geminadas em Quilograma (KG).

A quantidade de resíduos gerados de um determinado material de um Subelemento pode ser medida como uma porcentagem da quantidade necessária para construir os Elementos de Construção. Essa porcentagem é referida como o Nível de Desperdício em relação a um

determinado material de um Subelemento específico. Na Tabela 4 é apresentado o Nível de Desperdício em porcentagem de cada material que compõe o projeto das Casas Geminadas.

NÍVEL 1 (SISTEMAS)	NÍVEL 2 (COMPONENTES)	NÍVEL 3 (ELEMENTOS)	NÍVEL 4 (SUBELEMENTOS)	NÍVEL DE DESPERDÍCIO
INFRAESTRUTURA	FUNDAÇÃO	FUNDAÇÃO PADRÃO	AÇO CA 50	2,0%
			SACO DE CIMENTO	100,0%
			CIMENTO	2,0%
			AREIA	3,0%
			BRITA	2,0%
			SOLO EXTRAÍDO	100,0%
			PREGO	80,0%
DIVISÃO	SUPERESTRUTURA	CONSTRUÇÃO DO PISO	TÁBUA DE MADEIRA	33,0%
			SACO DE CIMENTO	100,0%
			CIMENTO	2,0%
			AREIA	3,0%
INTERIORES	ACABAMENTO INTERNO	ACABAMENTO PAREDE	BRITA	2,0%
			LATA DE TINTA INTERNA	100,0%
			TINTA INTERNA (18L)	5,0%
			LATA DE MASSA CORRIDA (18L)	100,0%
			MASSA CORRIDA	5,0%
SERVIÇOS	HIDRAÚLICA	DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	TUBOS PVC	5,0%
			SOLO EXTRAÍDO	100,0%
	ELÉTRICA	ILUMINAÇÃO E FIAÇÃO	CABO DE COBRE	2,0%
			ELETRODUTO PVC FLEXIVEL	2,0%
			CORRUGADO	

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Tabela 4 – Percentual de Nível de Desperdício para cada Material

Dessa forma, a quantidade desses resíduos gerados por um determinado material é calculada multiplicando-se o a quantidade total de Material da Construção exigido pelo nível de desperdício correspondente. A Tabela 4 apresenta o quantitativo, em quilograma, dos resíduos gerados por esses materiais.

NÍVEL 1 (SISTEMAS)	NÍVEL 2 (COMPONENTES)	NÍVEL 3 (ELEMENTOS)	NÍVEL 4 (SUBELEMENTOS)	QUANTITATIVO DE RESÍDUOS	
			AÇO CA 50	2,94 KG	
			SACO DE CIMENTO	23,24 KG	
			CIMENTO	74,00 KG	
INFRAESTRUTURA	FUNDAÇÃO	FUNDAÇÃO	AREIA	251,10 KG	
			PADRÃO	171,99 KG	
			SOLO EXTRAÍDO	81.792,00 KG	
			PREGO	0,02 KG	
			TÁBUA DE MADEIRA	176,83 KG	
			SACO DE CIMENTO	22,61 KG	
			CONSTRUÇÃO	CIMENTO	72,00 KG
DIVISÃO	SUPERESTRUTURA	DO PISO	AREIA	427,05 KG	
			BRITA	282,45 KG	
				LATA DE TINTA INTERNA	10,00 KG
INTERIORES	ACABAMENTO INTERNO	ACABAMENTO PAREDE	TINTA INTERNA (18L)	12,24 KG	
			LATA DE MASSA CORRIDA (18L)	6,00 KG	
			MASSA CORRIDA	8,64 KG	
			DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	TUBOS PVC	1,25 KG
SERVIÇOS	HIDRAÚLICA		SOLO EXTRAÍDO	1.800,00 KG	
				CABO DE COBRE	1,23 KG
		ELÉTRICA	ILUMINAÇÃO E FIAÇÃO	ELETRODUTO PVC FLEXIVEL	0,64 KG
					CORRUGADO

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Tabela 5 – Quantitativo de Resíduos Gerados para cada Material

Os dados apresentados na Tabela 4, mostram que o modelo de Li et al. (2016) foi capaz de quantificar os resíduos e identificar as atividades geradoras. Assim, a estimativa mostra o nível de desperdício em cada etapa da construção, permitindo um melhor controle da geração de resíduos e subsidiando o plano de gerenciamento de resíduos para construção das Casas Geminadas.

A precisão da estimativa de resíduos pode ser aprimorada de duas maneiras: uma é incorporar o conhecimento ou dados históricos dos gerentes de projeto e a outra é considerar mais níveis de detalhe. Por um lado, os níveis de resíduos desempenham um papel crítico na precisão da estimativa de resíduos. A experiência e o conhecimento de projetos semelhantes podem ajudar a determinar os níveis adequados de desperdício. Além disso, dados históricos bem

definidos também podem contribuir para derivar níveis de desperdício de materiais em diferentes pacotes de trabalho.

5. Considerações Finais

As construtoras serão as principais beneficiadas pelo plano de gerenciamento de resíduos. No aspecto econômico será possível diminuir custos de execução de obra, uma vez que os erros de projetos serão mitigados na fase de projetos com o auxílio da tecnologia *BIM*, havendo menos retrabalhos durante as atividades e menos desperdício de material. Dessa forma, o cronograma da obra torna-se mais assertivo nos prazos de entrega, reduzindo os atrasos e consequentemente a permanência de mão de obra, que tem impacto direto nos custos da execução.

Outro ponto importante, será a otimização do processo construtivo da edificação, pois a partir da gestão de resíduos, o engenheiro responsável pela execução da obra, previamente, identificará o quantitativo e os tipos de resíduos gerados em cada uma das fases da construção, possibilitando o planejamento adequado das atividades, como por exemplo, a logística dos resíduos, identificando quais serão descartados, reciclados e reutilizados. Com isso, haverá uma melhora significativa na organização e limpeza do canteiro de obra trazendo pontos positivos para segurança do trabalho, ou seja, reduzindo riscos de acidentes de trabalho com a equipe.

Vale ressaltar que a tecnologia *BIM* e o modelo matemático utilizados podem ser aplicados para qualquer tipo de construção e não apenas para residências. Havendo, então, a necessidade de ajustar apenas o plano de gerenciamento conforme a obra. Ou seja, a construtora poderá implementar esse plano de gerenciamento em todos os seus canteiros, multiplicando seus ganhos.

6. Conclusão

A estimativa precisa de resíduos de diferentes tipos de projetos de construção e demolição é um pré-requisito para o gerenciamento eficaz de resíduos de construção em um ambiente urbano construído. Este artigo aplicou um modelo quantitativo de estimativa de resíduos de construção para os projetos modelados em *BIM* das Casas Geminadas, incorporando as taxas de conversão e os níveis de desperdício de diferentes materiais. Esse modelo de estimativa de resíduos permite que as empresas de construção identifiquem as categorias de resíduos de construção, determinem os tipos mais significativos de fluxos de resíduos e rastreiem as origens dos fluxos de resíduos. Assim, as empresas de construção civil podem identificar qual processo de construção precisa prestar mais atenção e adotar tecnologias e métodos de construção adequados para melhorar seu desempenho no gerenciamento de resíduos de construção.

7. Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2010**. Abrelpe, 2011. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/downloads/Panorama2010.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2018

BRASIL, Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 307: diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Brasília, de 5 de julho de 2002; Publicada no DOU nº 136, de 17/07/2002, págs. 95-96. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em: 23 out. 2018.

CHENG, Jack; MA, Lauren. **A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning**. Waste management, v. 33, n. 6, p. 1539-1551, 2013.

LI, Yashuai; ZHANG, Xueqing; DING, Guoyu; FENG, Zhouquan. **Developing a quantitative construction waste estimation model for building construction projects**. Resources, Conservation and Recycling, v. 106, p. 9-20, 2016.

LI, Yashuai; ZHANG, Xueqing. **Web-based construction waste estimation system for building construction projects**. Elsevier. Automation in Construction 35 142–156, 2013.

LIU, Z.; OSMANI, M; DEMIAN, P.; BALDWIN, A.. **A BIM-aided construction waste minimisation framework**. Automation in Construction, Volume 59, p. 1-23, 2015.

LU, Weisheng; WEBSTER, Chris; CHEN, Ke; ZHANG, Xiaoling; CHEN, Xi. **Computational Building Information Modelling for construction waste management: Moving from rhetoric to reality**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 68, p. 587-595, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.029>>. Acesso em: 1 jan. 2018

MHASKE, Monika; DARADE, Milind; KHARE, Pranay. **Construction waste minimization**. International Research Journal of Engineering and Technology, p. 2395–56, 2017.

OLUGBENGA, Akinade; LUKUMON, Oyedele; SAHEED, Ajayi; MUHAMMAD, Bilal; HAFIZ, Alaka; HAKEEM, Owolabi; OMOLOLA, Arawomo. **Designing out construction waste using BIM technology: Stakeholders' expectations for industry deployment**. Elsevier. Journal of Cleaner Production 375-385, 2018.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. **Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para Desenvolvimento Sustentável**. New York, 2015. Traduzido pelo Centro de Informação das Nações Unidas para o Brasil (UNIC Rio), última edição em 25 de setembro de 2015. Disponível em: <<https://sustainabledevelopment.un.org>>.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL - SINDUSCON-MG. **Cartilha de gerenciamento de resíduos sólidos para a construção civil**. Belo Horizonte. Sinduscon-MG, p. 38p., 2005. Disponível em: <<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Cartilha+de+gerenciamento+de+res?duos+s?lidos+para+a+constru?o+civil#0>>. Acesso em: 8 fev. 2016