

### III-138 – APLICAÇÃO DO MODELO DE NAGALLI PARA ESTIMATIVA DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM UMA OBRA DE ALVENARIA ESTRUTURAL

**Yuri de Andrade Araújo<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Graduando em Engenharia Civil na UNINASSAU.

**Yago Rocha de Souza<sup>(2)</sup>**

Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental na Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

**Cláudio Luis de Araújo Neto<sup>(3)</sup>**

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Licenciado em Ciências Agrárias pela Universidade Federal da Paraíba. Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Doutorando em Engenharia Civil e Ambiental na UFCG. Professor da UNINASSAU.

**William de Paiva<sup>(4)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Licenciado em Matemática pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Professor do departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental na Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Absalão Emerenciano, 415 - Cruzeiro - Campina Grande - PB - CEP: 58415-580- Brasil - Tel: (83) 98810-1387 - e-mail: yuriandradearaujo@gmail.com

#### RESUMO

No Brasil, a construção civil, na forma que é conduzida, é uma grande geradora de resíduos, pois os processos construtivos empregados corroboram para que ocorra desperdício na execução da obra, uma vez que, os processos são de conversão e não de montagem. A destinação final dos resíduos também é um grande problema, pois os bota-foras ilegais ainda são o destino dos Resíduos da Construção Civil (RCC) em muitos municípios do Brasil. A quantificação dos RCC é uma etapa fundamental no gerenciamento, pois é o momento onde toda a logística de resíduos da obra é estabelecida. A presente pesquisa propõe compreender o comportamento dos RCC para ajustar o modelo de André Nagalli aos dados obtidos em uma determinada empresa de construção civil. Assim, além de estimar a geração de resíduos da construção civil com maior exatidão, objetiva-se também uma comparação com índices observados por pesquisadores em obras no Brasil e no exterior. A forma de ajuste utilizada para o modelo foi à regressão não linear, pois é mais apropriado, uma vez que, a geração de resíduos geralmente não é linear. O método de Nagalli considera a experiência e/ou treinamento da equipe, processo construtivo utilizado na obra, nível de controle da obra e a flexibilização temporal para execução das atividades. Foram estimados dois dos quatro coeficientes indicados pelo autor, são eles: experiência da equipe e nível de controle da obra. Os resultados de ajuste mostraram-se satisfatórios, apresentando um modelo preditivo e significativo, além de apresentar um erro, diferença do valor real e estimado pelo modelo, praticamente nulo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Gestão ambiental, Resíduos da Construção Civil, Método de Nagalli.

#### INTRODUÇÃO

A construção civil, na forma que é conduzida, no Brasil, é uma grande geradora de resíduos e a busca constante por novas tecnologias induz a exploração e a transformação dos recursos naturais, ou seja, provocará o aumento na geração de resíduos sólidos. Este fator ocasionará a degradação do meio ambiente e poderá causar a preocupação com a saúde e o bem-estar da população, portanto é fundamental pensar, também, no desenvolvimento sustentável (ARAÚJO, 2011).

De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2016), estima-se que, em 2016, os municípios brasileiros coletaram cerca de 45,1 milhões de toneladas de

RCC, o que representa uma diminuição de 0,08% em relação a 2015. Esta situação, também observada em anos anteriores, exige atenção especial quanto ao destino final dado aos RCC, visto que a quantidade total desses resíduos é ainda maior, uma vez que os municípios, via de regra, coleta apenas os resíduos lançados nos logradouros públicos.

É importante ressaltar que a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n° 448/2002 estabelece como objetivo prioritário para os geradores a não geração de resíduos, e como objetivos secundários, a redução, reutilização, reciclagem e disposição final. Essa imposição tem feito com que as empresas estabeleçam em seus processos de gestão, a preocupação com a não geração. Ponto fundamental quando tratamos de questões voltadas a melhoria dos processos, a inovação dos processos produtivos e a escolha dos materiais a serem empregados.

As diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, além das classes do RCC, foram estabelecidos pela Resolução n° 307/2002. As diversas Classes estão apresentadas no Quadro 1.

**Quadro 1: Classificação dos RCC de acordo com a Resolução n° 307/2002 do CONAMA**

Classe	Origem	Tipo de Resíduo
Classe A	São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados.	De construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem, tijolos, blocos cerâmicos, telhas, placas de revestimento, argamassa e concreto em geral.
Classe B	São os resíduos recicláveis para outras destinações.	Tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, gesso e latas vazias de tintas imobiliárias.
Classe C	São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação.	Tais como manta asfáltica, fórmicas, manta de EVA, sacaria de gesso entre outros.
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.

No canteiro de obras a geração dos RCC se dá por inúmeros fatores que estão relacionados ao projeto, seja pela falta de definições e/ou detalhamento satisfatórios, falta de precisão nos memoriais descritivos, baixa qualidade dos materiais adotados, baixa qualificação da mão-de-obra, o manejo, transporte ou armazenamento inadequado dos materiais, a falta ou ineficiência dos mecanismos de controle durante a execução da obra, ao tipo de técnica escolhida para a construção ou demolição, aos tipos de materiais que existam na região da obra e finalmente a falta de processos de reutilização e reciclagem no canteiro (LIMA; LIMA, 2016).

Segundo Nagalli (2014), o gerenciamento dos resíduos da construção civil deve atuar como um conjunto de ações operacionais que objetivam a redução da geração dos resíduos em um determinado empreendimento ou atividade. Tais ações proporcionam uma melhor organização do canteiro, possibilitando uma obra mais limpa.

A quantificação dos resíduos, que serão gerados no decorrer da obra deve ser realizada antes de iniciar-se a obra, ou seja, na fase de projetos, pois é neste momento em que se estabelece o tamanho da equipe de gerenciamento, quantidade e capacidade dos coletores temporários e como será feito o transporte dos RCC dentro da obra (NAGALLI, 2014).

Os métodos utilizados para estimar resíduos da construção civil estão cada vez mais comuns, em sua maioria correlacionam aspectos geométricos das construções com a geração de resíduos. Os modelos matemáticos comumente utilizados são os modelos clássicos de regressão para análise de dados, dentre eles, estão os modelos de regressão não linear e os modelos lineares generalizados (MATTOS, 2013).

Os modelos lineares e não lineares são utilizados com o objetivo de relacionar e compreender uma variável dependente (resposta) e uma ou mais variáveis explicativas (independente). Porém, em algumas situações um modelo não linear pode ser mais apropriado, uma vez que muitos fenômenos geralmente não são lineares (MATTOS, 2013). Os métodos iterativos são os mais utilizados para solucionar problemas de regressão não linear, sendo o modelo de Gauss-Newton um dos mais utilizados.

Na tentativa de contribuir com a melhoria do gerenciamento dos resíduos da construção civil, uma vez que, a quantificação dos resíduos é uma etapa fundamental no gerenciamento, pois é o momento onde toda a logística de resíduos da obra é estabelecida, por isso é importante ressaltar a necessidade de estimar de forma correta a geração de resíduos. Este estudo abordou o ajuste do modelo de estimativa de geração de RCC de André Nagalli, método este que toma por base o processo construtivo adotado, a experiência e tamanho da equipe executora, eficiência de fiscalização da equipe de gerenciamento e cronograma da obra.

## OBJETIVO

Ajustar o modelo matemático de Nagalli (2014) para estimativa de resíduos de construção civil, classe A, em uma obra de alvenaria estrutural.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa foi desenvolvida na cidade de Natal - RN, em uma das obras de uma empresa da construção civil, os dados coletados neste monitoramento permitiram o ajuste do modelo desenvolvido por Nagalli (2014). A obra foi executada em alvenaria estrutural, ou seja, toda parede é admitida como elemento de suporte da estrutura, funcionando ao mesmo tempo como elemento estrutural e de vedação. O gerenciamento de resíduos na obra teve início desde a instalação do canteiro de obra e ocorreu até o momento da entrega da obra para os clientes.

A implantação do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) é de responsabilidade da equipe técnica de execução da obra citada. A obra estudada é apresentada na Figura 1.



**Figura 1: Obra monitorada, Natal-RN.**

No canteiro de obra o gerenciamento tem início na fonte geradora, onde são coletados os resíduos. Estes são identificados e separados de acordo com a classe, e levados até as baias de resíduos, identificadas por cores (conforme estabelece a Resolução CONAMA 275), de modo a facilitar a organização do canteiro e a separação adequada dos materiais de acordo com sua classificação.

A obra estudada recicla os resíduos, classe A, dentro do processo produtivo, conforme ilustra a Figura 2, ou seja, reaproveita os resíduos que foram gerados, no próprio processo produtivo que os originou na forma de agregado reciclado, conforme ilustra a Figura 3. Essa redução do consumo de matérias-primas, bem como dos custos de controle da poluição aumentaram a produtividade da empresa e permitem que ela pratique preços competitivos e seja líder do seu segmento. Os resíduos das classes B, C e D são destinados de forma ambientalmente correta pela obra.



**Figura 2: Baia de agregado reciclado.**



**Figura 4: Piso permeável utilizando agregado reciclado.**

A seleção da obra foi baseada no fato desta possuir a certificação ISO 9001 e ISO 14001, ou seja, é uma obra que possui um Sistema de Gestão da Qualidade (SGA) e um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) consistentes, fato este que garante uma maior confiabilidade aos dados de geração de resíduos. Após a escolha da obra, as planilhas de controle de geração de resíduos foram analisadas.

Os dados categóricos foram apresentados e utilizou-se o método de Nagalli (2014) para desenvolver a pesquisa. Método este que considera a experiência e/ou treinamento da equipe, processo construtivo utilizado na obra, nível de controle da obra e a flexibilização temporal para execução das atividades, e é expresso na Equação 1.

$$X = \frac{K_e * K_p^2 * K_f * K_c}{(K_e + K_p + K_f + K_c)^2} * Q * T + S$$

Equação (1)

Onde:

X = Quantidade estimada de resíduos.

$K_e$  = Fator de equipe, a ser determinado para cada equipe da empresa.

$K_p$  = Fator de processo, a ser determinado para cada processo construtivo.

$K_f$  = Fator de fiscalização, que é função do nível de controle da obra.

$K_c$  = Fator de cronograma, que representa a flexibilização temporal para a execução da atividade.

Q = Quantidade da unidade de referência do processo.

T = Recorrência de um resíduo.

S = Sobras de material.

Os coeficientes do método precisam ser determinados de acordo com as características da obra e equipe, analisadas. O método construtivo utilizado pela obra é a alvenaria estrutural, ou seja, o fator  $K_p$  será equivalente a 1. O  $K_c$  foi determinado como sendo 1,1, pois as atividades são de curta duração, no caminho crítico.

O  $K_e$  e o  $K_f$  não foram determinados conforme estabelece o autor, pois fez-se necessário estima-los com o software computacional *STATISTICA* versão 13.0, uma vez que, a pesquisa tem como objetivo geral ajustar a curva aos dados experimentais da obra. O ajuste foi realizado baseado no modelo não linear, com uso do método iterativo de Gauss Newton, devido ao comportamento das variáveis em estudo.

A obra ficou por treze semanas executando apenas alvenaria, por isso os dados analisados são referentes às primeiras semanas do serviço de alvenaria, ou seja, tempo de recorrência do resíduo  $T = 13$ . Como a obra não dispunha de baias de segregação para cada atividade geradora de resíduos, classe A, só foi possível analisar os dados referentes às semanas citadas acima. Durante este período de tempo foi possível executar 8.525,73 m<sup>2</sup> de alvenaria estrutural utilizando blocos. Para aplicar o valor correspondente a unidade de referência (Q) fez-se necessário transformar a metragem quadrada de alvenaria em metragem cúbica. O fator de sobras (S) foi considerado 5% devido à política de compras de materiais da empresa.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a consolidação dos dados obtidos, ajustes foram feitos na curva da equação para buscar a maior correlação entre a variável dependente (quantidade de resíduos gerados) e a variável independente (explicativas). É importante ressaltar que os dados da geração de resíduos foram obtidos apenas para a etapa de alvenaria da obra. Logo, os volumes utilizados para a elaboração do estudo são referentes ao serviço de alvenaria, e não para todas as etapas de implantação do empreendimento.

A primeira relação analisada foi da geração de resíduos, classe A durante as treze semanas analisadas, conforme a classificação da Resolução CONAMA nº 307/02. A Tabela 1 apresenta a geração total de RCC, classe A para cada uma das treze semanas trabalhadas.



**Tabela 1: Geração de RCC por semana.**

Semana	Vol. Total de RCC classe A (m³)	Área construída (m²)
1	7,0	685,80
2	7,7	754,38
3	8,5	829,82
4	8,3	808,31
5	5,2	508,50
6	5,7	559,32
7	6,2	599,68
8	6,1	592,51
9	5,9	573,73
10	6,5	631,09
11	7,1	694,22
12	7,3	709,10
13	5,9	579,3
<b>Total</b>	<b>87,5</b>	<b>8525,7</b>

Verifica-se, na Tabela 1, que a geração de resíduos, classe A varia de 5,2 a 8,5 m³/semana. O volume total de RCC classe A gerado é de 87,5 m³ para uma produção de 8.525,7 m² de alvenaria, sendo assim pode-se chegar à taxa média de geração de resíduos de 0,0103 m³/m².

O controle de resíduos de construção civil pode ser medido em massa ou em volume. Devido ao fato de que nem sempre se tem balança disponível em obras, é mais comum o controle volumétrico dos resíduos.

A Equação 2 mostra o modelo ajustado, para um coeficiente de determinação de 99% e uma soma de quadrado dos resíduos matemáticos de 0,0011, que representa um valor muito baixo indicando um modelo bem ajustado.

$$y = \frac{0,1098 * 1^2 + 0,2677 * 1,1}{(0,1098 + 1 + 0,2677 + 1,1)^2} * x * 13 + 0,05 \quad \text{Equação (2)}$$

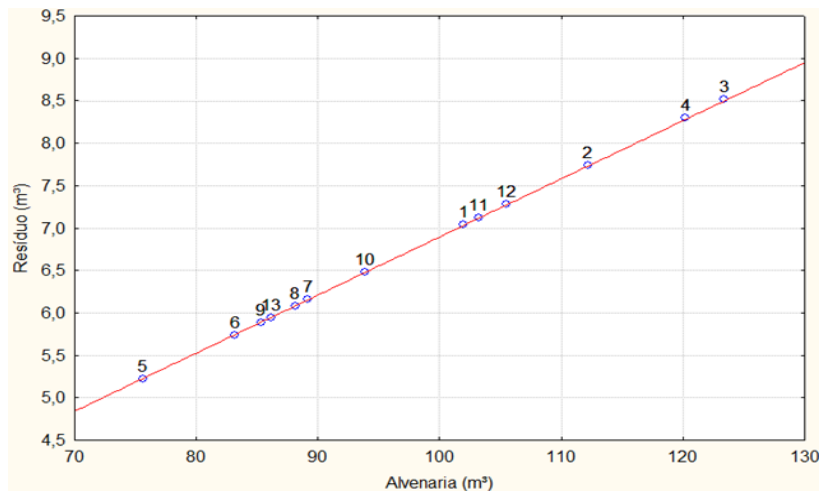
Onde:

y = Quantidade de resíduos gerados em kg/m².

x = Quantidade de alvenaria executada em metro cúbico.

Segundo Nagalli (2014) o Ke com valor de 0,7 corresponde a uma equipe com experiência superior a necessidade, e o Kf com valor 1 corresponde a uma fiscalização permanente. Assim sendo, observa-se pela Equação 2 que os valores estimados para Ke e Kf são respectivamente 0,1098 e 0,2677, caracterizando a equipe com experiência superior a necessidade e uma frequência de fiscalização como sendo permanente, o que aponta para excelência do processo construtivo com relação à geração dos RCC.

A Figura 4, apresenta a qualidade do ajuste dos dados experimentais ao modelo estudado. Desta forma pode-se avaliar como um bom instrumento para estimativa dos resíduos gerados em função da área de alvenaria produzida, servindo como base para geração dos orçamentos iniciais das próximas obras.



**Figura 4: Ajuste dos valores experimentais ao modelo.**

Convertendo-se o índice  $0,0103 \text{ m}^3/\text{m}^2$  para  $\text{kg}/\text{m}^2$ , encontrado no estudo, obtém-se o valor de  $13,39 \text{ kg}/\text{m}^2$ . Comparando o índice obtido com o citado por Novaes e Mourão (2008), de 100 a  $300 \text{ kg}/\text{m}^2$ , pode-se observar que a obra avaliada apresenta índice de geração de resíduos bem abaixo do esperado para as obras brasileiras, segundo Novaes e Mourão (2008).

Li et al. (2013), apontam índice de  $40,7 \text{ kg}/\text{m}^2$  de resíduos da construção civil para uma obra na China. Estudos espanhóis indicam uma geração de  $120 \text{ kg}/\text{m}^2$  para novas construções e  $338,7 \text{ kg}/\text{m}^2$  para reformas.

## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

As análises realizadas foram consideradas satisfatórias. O modelo matemático foi validado através da análise de variância que apresentou um p-valor menor que o nível de significância, de 5%, além disto, apresentou-se um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,99.

O método de Nagalli mostrou-se eficiente para o método construtivo de alvenaria estrutural na etapa de alvenaria, portanto pode ser utilizado nas estimativas de geração de resíduos no período de orçamento das construções, podendo assim nortear as medidas cabíveis para o planejamento da obra e gerenciamento dos resíduos, ou seja, incorporar ao PGRCC.

O método construtivo é fundamental para a estimativa de geração de resíduos, percebe-se, então, que a escolha dos materiais que não geram muitos resíduos durante a execução dos serviços é essencial para diminuir o desperdício e as perdas, além de aumentar a eficiência da produção.

A mão-de-obra qualificada e experiente corrobora com a redução da geração de resíduos, pois executa o serviço com qualidade e o índice de retrabalho é quase zero.

As certificações ISO são vantajosas quanto ao gerenciamento eficaz dos resíduos e auxiliam nas estatísticas positivas da obra em relação a sua geração.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. \_\_\_\_ Resolução Conama nº 275, de 25 de abril de 2001. Estabelece o código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva. Diário Oficial da União, Brasília, n. 136, p.95-96, 19 de junho de 2001.



2. \_\_\_\_\_. Resolução Conama nº 307, de 5 julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília, nº 136, p. 95-96, 17 de julho de 2002.
3. LI, J., DING, Z., MI, X., WANG, J. A model for estimating construction waste generation index for building Project in China. Resources, Conservation and Recycling, v.74, p. 20-26, 2013.
4. NAGALLI, A. Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.
5. NOVAES, M. V., MOURÃO, C. A. M. A. Manual de gestão ambiental de resíduos sólidos na construção civil. Cooperativa de Construção Civil do Estado do Ceará, Fortaleza, 2008.