



UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS  
CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**MODELO PARA ESTIMAR A GERAÇÃO DE RESÍDUO  
DE MADEIRA DE USO PROVISÓRIO EM OBRAS DE  
EDIFÍCIOS VERTICAIS**

**LUCIANO LOPES VARGAS AMOR**

São Leopoldo, Janeiro de 2017.



LUCIANO LOPES VARGAS AMOR

**MODELO PARA ESTIMAR A GERAÇÃO DE RESÍDUO DE  
MADEIRA DE USO PROVISÓRIO EM OBRAS DE EDIFÍCIOS  
VERTICAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

**Orientador:** Prof. Dra. Andrea Parisi Kern

**Banca examinadora:** Prof. Dr. Sérgio Cirelli Ângulo

Prof. Dra. Marlova Piva Kulakowski

São Leopoldo, Janeiro de 2017.

A524f Amor, Luciano Lopes Vargas.  
Modelo para estimar a geração de resíduo de madeira de uso provisório em obras de edifícios verticais / Luciano Lopes Vargas Amor. – 2017.  
101 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2017.  
“Orientador: Prof. Dra. Andrea Parisi Kern.”

1. Construção civil. 2. Estruturas de madeira (Construção civil). 3. Reaproveitamento (Sobras, refugos, etc.). 4. Resíduos vegetais. I. Título.

CDU 69.059.6

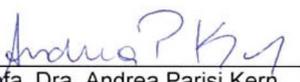
A Dissertação de Mestrado

**“MODELO PARA ESTIMAR A GERAÇÃO DE RESÍDUO DE MADEIRA DE USO PROVISÓRIO EM  
OBRAS DE EDIFÍCIOS VERTICAIS”**

apresentada por **Luciano Lopes Vargas Amor**

foi julgada e aprovada como atendimento parcial aos requisitos para a obtenção do grau de

**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL** pela seguinte banca examinadora:



Prof. Dra. Andrea Parisi Kern  
Orientadora e Presidente da Banca Examinadora  
Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS



Prof. Dra. Marlova Piva Kulakowski  
Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS



Prof. Dr. Sergio Cirelli Angulo  
Universidade de São Paulo - USP  
(participação por webconferência\*)

*\* Na presente sessão, fica a orientadora autorizada a assinar pelo professor que integra a banca via webconferência*

São Leopoldo, 12 de janeiro de 2017.



**DEDICO ESTE TRABALHO A TODOS QUE  
COMPARTILHAM COMIGO O GOSTO  
PELO ESTUDO, E, AGORA, O GOSTO  
PELA PESQUISA.**



## AGRADECIMENTOS

Ao final desta etapa de minha vida, gostaria de começar agradecendo a minha orientadora Andrea Parisi Kern, que esteve comigo desde o início, me ajudando a desenvolver o projeto de pesquisa, até a data de hoje. Obrigado pela paciência, e por ser uma referência como professora e como orientadora.

À Capes, pela bolsa concedida, e por proporcionar o ensino e a pesquisa deste país que tanto necessita de implementação em ciência e tecnologia para elevar o seu desenvolvimento.

À Unisinos, por proporcionar infraestrutura, funcionários e professores de excelência.

À minha família, em especial minha mãe e minha tia Crispina, por me proporcionarem o gosto pelo estudo, e me ensinarem a agir com ética e esforço, pois assim, a colheita é certa;

Aos meus amigos, que tiveram que me aguentar falando do Mestrado por 2 “longos” anos, e por entender que, se eu não estiver estressado, então não sou eu!

Aos colegas de trabalho, clientes e profissionais que colaboraram com minha pesquisa, me ajudando de uma forma que muitas vezes eu nem esperava. Em especial ao Tonicler Bolzan, que me apresentou minha futura orientadora e que contribuiu de forma significativa a este trabalho.

À Simone Trisch, que foi quem ligou avisando que eu havia ganhado a bolsa. Ao Arthur Wittmann por auxiliar nas entrevistas, visitas a obras e nas análises dos projetos. À Michele Dias, por auxiliar nos primeiros passos com o SPSS.

Ao Alfredo Montelongo que, além de ajudar com as análises estatísticas, também teve paciência em ensinar diversos conceitos importantíssimos para a obtenção dos resultados alcançados. À Juliane Garcia, minha professora de inglês, pela revisão no resumo traduzido.

Aos meus colegas de Mestrado que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a finalização deste trabalho.

À vida e a Deus, por me dar todas as condições necessárias para atingir meus objetivos, e por me cercar de pessoas maravilhosas, que confiam e acreditam em mim.



Toda transformação encara resistência.  
Se você quiser quebrar barreiras, terá que passar por isso.  
(Autor desconhecido)



## **FONTES DE FINANCIAMENTO DA PESQUISA**

**A REALIZAÇÃO DESTA PESQUISA FOI POSSÍVEL COM O APOIO DAS  
SEGUINTE FONTES FINANCIADORAS:**





# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>25</b>
1.1	JUSTIFICATIVA .....	26
1.2	OBJETIVOS .....	27
1.2.1	<i>Objetivo geral.....</i>	<i>27</i>
1.2.2	<i>Objetivos específicos .....</i>	<i>27</i>
1.3	ESTRUTURA DA PESQUISA .....	27
1.4	DELIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	28
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>29</b>
2.1	A MADEIRA COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO.....	29
2.1.1	<i>Instalações provisórias de madeira.....</i>	<i>33</i>
2.1.2	<i>Sistemas de proteção coletiva em madeira.....</i>	<i>35</i>
2.1.3	<i>Formas de concreto armado e escoras para estrutura.....</i>	<i>37</i>
2.2	O USO DA MADEIRA NA CONSTRUÇÃO E OS IMPACTOS AMBIENTAIS .....	39
2.2.1	<i>A quantificação de resíduos de madeira.....</i>	<i>42</i>
<b>3</b>	<b>MÉTODO DE PESQUISA .....</b>	<b>46</b>
3.1	DELINEAMENTO DA PESQUISA .....	46
3.2	ETAPA 1 – ESTUDO PILOTO .....	48
3.3	ETAPA 2 - COLETA DE DADOS .....	49
3.3.1	<i>Descrição das empresas .....</i>	<i>50</i>
3.3.2	<i>Descrição das obras estudadas.....</i>	<i>51</i>
3.3.3	<i>Dados coletados: variável dependente e variáveis independentes.....</i>	<i>54</i>
3.4	ETAPA 3 - TRATAMENTO DOS DADOS.....	59
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>61</b>
4.1	RESULTADOS OBTIDOS NO ESTUDO PILOTO .....	61
4.2	APRESENTAÇÃO DOS DADOS COLETADOS .....	64
4.2.1	<i>Variável dependente: volume de resíduos de madeira .....</i>	<i>65</i>
4.2.2	<i>Variáveis independentes - características de projeto.....</i>	<i>66</i>
4.2.3	<i>Variáveis independentes - características de execução.....</i>	<i>68</i>
4.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS E DESENVOLVIMENTO DO MODELO EMPÍRICO .....	70
4.3.1	<i>Análise descritiva .....</i>	<i>70</i>
4.3.2	<i>Testes de Normalidade da variável Y (volume de resíduos).....</i>	<i>71</i>
4.3.3	<i>Correlações entre a variável dependente e variáveis independentes .....</i>	<i>78</i>
4.3.4	<i>Análise de regressão.....</i>	<i>81</i>
4.3.5	<i>Geração do modelo .....</i>	<i>87</i>
4.4	APLICAÇÃO DO MODELO ESTIMADO PARA AS OBRAS DE ESTUDO.....	87
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>91</b>
5.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	91
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	92
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>93</b>
	<b>APÊNDICE – OFÍCIO PARA AS EMPRESAS.....</b>	<b>99</b>



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Vantagens e desvantagens do uso da madeira .....	29
Tabela 2 – Nomenclatura de peças de madeira serrada.....	31
Tabela 3 – Dimensões de madeira serrada .....	31
Tabela 4 – Tipos de madeira.....	32
Tabela 5 – Empresas construtoras participantes da pesquisa .....	50
Tabela 6 – Classificação do sistema produtivo .....	56
Tabela 7 - Classificação do sistema de gestão.....	56
Tabela 8 – Classificação da qualidade das formas .....	57
Tabela 9 - Volume de resíduos de madeira .....	65
Tabela 10 – Características de projeto das obras.....	66
Tabela 11 – Características de projeto das obras.....	67
Tabela 12 – Características de execução das obras .....	68
Tabela 13 – Características de execução das obras .....	69
Tabela 14 – Análise descritiva.....	70
Tabela 15 – Testes de normalidade para 22 obras.....	71
Tabela 16 – Testes de normalidade para 21 obras.....	73
Tabela 17 – Testes de normalidade para 15 obras.....	75
Tabela 18 – Testes de normalidade para 14 obras.....	77
Tabela 19 – Correlações de Pearson (r).....	79
Tabela 20 – Resumo dos resultados da análise de regressão do Modelo 1 .....	81
Tabela 21 – Coeficientes do Modelo 1 .....	81
Tabela 22 – Resumo dos resultados da análise de regressão do Modelo 2 .....	82
Tabela 23 – Coeficientes do Modelo 2.....	82
Tabela 24 – Resumo dos resultados da análise de regressão do Modelo 3 .....	83
Tabela 25 – Coeficientes do Modelo 3.....	83
Tabela 26 – Resumo dos resultados da análise de regressão do Modelo 4 .....	84
Tabela 27 – Coeficientes do Modelo 4.....	84
Tabela 28 – Resumo dos resultados da análise de regressão do Modelo 5 .....	85
Tabela 29 – Coeficientes do Modelo 5.....	85
Tabela 30 – Resumo dos resultados da análise de regressão do Modelo 6 .....	85
Tabela 31 – Coeficientes do Modelo 6.....	86
Tabela 32 – Aplicação do modelo estimado.....	88



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – (a) detalhamento de um sistema de guarda-corpo e rodapé e (b) Proteção coletiva na construção de cobertura .....	36
Figura 2 – Sistema estrutural convencional.....	37
Figura 3 – Esquema de uma estrutura de concreto armado moldada <i>in loco</i> .....	38
Figura 4 – Delineamento da pesquisa.....	47
Figura 5 – (a) imagem da obra C3 e (b) imagem da obra C4.....	48
Figura 6 – Definição da amostra com o uso do software estatístico <i>G*Power</i> ®.....	50
Figura 7 – Localização das obras participantes da pesquisa .....	52
Figura 8 – Período de execução das obras.....	53
Figura 9 – Etapas da análise estatística .....	60
Figura 10 – (a) Obra C3 e (b) Obra C4 .....	62
Figura 11 – (a) Sanitário da obra C3 e (b) Canteiro da obra C4 sendo executado.....	62
Figura 12 – (a) Resíduo de madeira armazenado em C3 e (b) armazenado em C4 .....	64
Figura 13 – Imagens das obras estudadas.....	64
Figura 14 – Volume de resíduos de madeira .....	65
Figura 15 – Q-Q Plot de normalidade para 22 obras.....	71
Figura 16 – Dispersão para 22 obras .....	72
Figura 17 – Diagrama de caixa para 22 obras .....	72
Figura 18 – Q-Q Plot de normalidade para 21 obras.....	73
Figura 19 – Dispersão para 21 obras .....	74
Figura 20 – Diagrama de caixa para 21 obras .....	74
Figura 21 – Q-Q Plot de normalidade para 15 obras.....	75
Figura 22 – Dispersão para 15 obras .....	76
Figura 23 – Diagrama de caixa para 15 obras .....	76
Figura 24 – Q-Q Plot de normalidade para 14 obras.....	77
Figura 25 – Dispersão para 14 obras .....	78
Figura 26 – Diagrama de caixa para 14 obras .....	78
Figura 27 – Dispersão bivariada: (a) N° de pavimentos X Resíduo de madeira (m <sup>3</sup> ) e (b) N° pavimentos em subsolo X Resíduo de madeira (m <sup>3</sup> ).....	80
Figura 28 - Dispersão bivariada: (a) Altura da edificação (m) X Resíduo de madeira (m <sup>3</sup> ) e (b) Tipo/ Total X Resíduo de madeira (m <sup>3</sup> ) .....	80
Figura 29 – Dispersão bivariada: (a) Índice de uso da madeira X Resíduo de madeira (m <sup>3</sup> ) e (b) Volume de concreto (m <sup>3</sup> ) X Resíduo de madeira (m <sup>3</sup> ) .....	80
Figura 30 – Modelo final .....	86



## **LISTA DE ABREVIATURAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

AEPS – Anuários Estatísticos da Previdência Social

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção

CIB – International Council for Research and Innovation in Building and Construction

EPA – Environmental Protection Agency

EPI – Equipamento de Proteção Individual

FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental

FSC – Forest Stewardship Council

HSE – Health and Safety Executive

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBM – International Business Machines

MTE – Ministério do Trabalho e Emprego

NBR – Norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas

NR – Norma Regulamentadora

ONU – Organização das Nações Unidas

PAC – Programa de Aceleração do Crescimento

RCD – Resíduos de Construção e Demolição

SINDUSCON – Sindicato da Indústria da Construção Civil

SPC – Sistemas de Proteção Coletiva

SPP – Sistemas de Proteções Periféricas

SPSS – Statistical Packpage for the Social Sciences

VRM – Volume de Resíduos de Madeira

WWF – World Wide Found for Nature



## RESUMO

AMOR, L.L.V. **Modelo para estimar a geração de resíduo de madeira de uso provisório em obras de edifícios verticais**. São Leopoldo, 2017. 101 folhas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Unisinos, São Leopoldo. 2017.

O setor da construção civil é hoje um grande gerador de resíduos, o que impacta negativamente o meio ambiente. Tanto a fase de projeto quanto a de execução de obras podem ocasionar essa geração. Quantificar o resíduo gerado em uma obra é fundamental para ter um controle do problema. A madeira, principal material empregado no uso provisório nos canteiros de obras, pode gerar grande volume de resíduo, sendo que o mesmo é descartado tão logo a obra termina, havendo pouco reaproveitamento ou reciclagem da mesma. Quantificar esse resíduo pode facilitar a gestão e o controle do mesmo, possibilitando a sustentabilidade de um material nobre e importante para o desenvolvimento da construção civil. O objetivo deste estudo consiste em propor um modelo para estimar a geração de resíduos de madeira de uso provisório em obras de edifícios verticais, analisando suas características de projeto e de execução. A estratégia de pesquisa utilizada foi o estudo de casos múltiplos, com coleta de dados de obras localizadas na região metropolitana de Porto Alegre, feitos através de entrevistas, observações *in loco* e análise de projetos. Ao todo, a amostra estudada foi formada por 22 obras de 11 empresas. Como resultado, foram gerados modelos estatísticos, a partir de regressão múltipla, contendo a variável dependente - volume de resíduos de madeira – e as variáveis independentes relativas ao projeto – número de pavimentos, número de pavimentos em subsolo, volume de concreto executado – e à execução - comprimento linear de tapume em madeira, índice de uso da madeira na confecção dos equipamentos de proteção coletiva e instalações provisórias. O modelo proposto possui  $R^2$  ajustado de 0,893, indicando que é capaz de explicar 89,3% do fenômeno. As variáveis que mais impactaram foram o número de pavimentos e o número de pavimentos em subsolo. O modelo permite que as empresas construtoras possuam maior controle sobre o volume de resíduo de madeira gerado pelas suas obras, e possibilita realizar ações efetivas em prol da gestão dos resíduos, havendo maior controle e a redução dos mesmos. Possibilita também aplicá-lo em outras obras de diferentes regiões, considerando as características de projeto e de execução locais.

Palavras-chave: resíduo de construção e demolição, resíduo de madeira, regressão múltipla.



## ABSTRACT

AMOR, L.L.V. **Model to estimate the generation of wood waste used temporarily in vertical construction**. São Leopoldo, 2017. 101 sheets. Dissertation (Master Degree in Civil Engineering) – Postgraduate Civil Engineering Program, Unisinos, São Leopoldo.

The construction industry is today a great generator of waste, which has a negative impact on the environment. Both the design and execution phases of works can cause this generation. To quantify the waste generated in a work is fundamental to control the problem. Wood, the main material used temporarily in construction sites, can generate a large volume of waste, which is discarded as soon as the work is finished, with little reuse or recycling. Quantifying this waste can facilitate the management and control of the same, allowing the sustainability of a material which is important and noble for the development of civil construction. The aim of this study is to propose a model to estimate the generation of wood waste used temporarily in vertical construction, analyzing their design and execution characteristics. The research strategy used was the study of multiple cases, with data collection of works located in the metropolitan region of Porto Alegre, made through interviews, in situ observations and project analysis. In all, the sample studied was formed by 22 works from 11 companies. As a result, statistical models were generated from multiple regression, containing the dependent variable - volume of wood waste - and the independent variables related to the project - number of floors, number of floors in subsoil, volume of concrete executed - and execution - linear length of siding in wood, the index use of wood in the production of collective protection equipment and temporary facilities. The proposed model has an adjusted  $R^2$  of 0.893, indicating that it is able to explain 89.3% of the phenomenon. The variables that most impacted it were the number of floors and the number of floors in subsoil. The model allows construction companies to have greater control over the volume of wood waste generated by their works, and enables effective actions to be taken in favor of waste management, with greater control and reduction of waste. It can also be applied in other works from different regions, considering the local design and execution characteristics.

Key-words: construction and demolition waste, waste wood, multiple regression.



## 1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é uma das mais importantes de qualquer cenário econômico de um país, pois é uma atividade imprescindível e que impacta diretamente a vida das sociedades. Segundo dados da Pesquisa Anual da Indústria da Construção (IBGE, 2013), o setor foi influenciado positivamente nos últimos anos por fatores tais como: a maior oferta de crédito imobiliário; o Programa de Aceleração do Crescimento – PAC; o Programa Minha Casa Minha Vida; e as obras para a Copa do Mundo de 2014 e Olimpíadas de 2016.

No entanto, o período de recessão atualmente observado no cenário econômico se reflete no setor. De acordo com dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção - CBIC (2015), apesar de ter atingido um pico de 13,1% de crescimento no ano de 2010, a taxa de variação da construção civil atualmente é de -2,1% em 2014 e de -6,5% em 2015.

Em contraponto a essa variação, foi constatado um aumento constante da geração de resíduos de construção e demolição (RCD) no país, um dos graves impactos ambientais decorrentes da indústria da construção. O relatório anualmente divulgado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE (2015), indica que a geração de RCD aumentou cerca de 44% no mesmo período (2010-2015).

Na União Européia, a “Agenda 21 para a Construção Sustentável”, relatório gerado pelo estudo promovido pelo *International Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB)*, aponta a construção civil como geradora de aproximadamente 40% de todo o resíduo produzido pelo homem (CIB *apud* GONZÁLEZ; RAMIRES, 2005).

Diante de números tão expressivos, observa-se a necessidade de construir mais usando menos materiais, e substituir matérias-primas naturais por material reciclado ou reutilizado, reduzindo a pressão sobre a natureza e o volume de material nos aterros, sem gerar outros impactos ambientais (WEINSTOCK, 2000; JOHN, 2000; JOHN e APOGYAN, 2000).

No Brasil, a Resolução nº 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), e mais tarde a Política Nacional de Resíduos Sólidos surgiram com o objetivo de regular a gestão dos resíduos gerados no país. Segundo essa Resolução, os resíduos gerados em obras de construção civil devem receber tratamento e destinação adequados pelos seus geradores (CONAMA, 2002).

A madeira, recurso material objeto deste estudo, é uma das maiores fontes geradoras de resíduos. É classificada, segundo a mesma resolução, como sendo de Classe B, “resíduos

recicláveis para outras destinações”. Na maioria das vezes, o uso deste material é provisório, sendo utilizado como formas para estruturas de concreto, sistemas e/ou equipamentos de proteção coletiva e instalações provisórias de um canteiro de obras, gerando grande volume de resíduo ao final das obras.

Segundo Adeodato et al. (2011), por ser um material renovável, deve ser priorizado o uso da madeira obtida por práticas sustentáveis, promovendo nas florestas condições econômicas que garantam as atividades legais e inibam as predatórias. Mesmo com o uso sustentável, sua aplicação gera uma grande quantidade de resíduos que dificilmente são reaproveitados e/ou reciclados, já que a maioria acaba sendo danificada pelo uso, e/ou pelas intempéries a que está exposta, ou ainda pela sua contaminação com outros materiais. Essa contaminação se dá por pinturas, impermeabilizações, concretos e cimentos que contaminam o material, fazendo com que ele se torne um material Classe D, necessitando destinação diferente de quando não contaminado.

Diversas pesquisas têm buscado a quantificação de RCD, que pode ser entendida como passo inicial para a gestão de resíduos. Porém, segundo Dias (2013), a quantificação dos RCD se trata de uma atividade extremamente complexa, considerando as características próprias da indústria da construção civil, seu produto e seu processo de produção.

## **1.1 JUSTIFICATIVA**

Partindo do princípio de que é preciso quantificar os RCD para realizar uma correta gestão dos mesmos, diversos autores buscaram solucionar o problema através da criação de métodos de quantificação de RCD, gerando indicadores referenciais para outros estudos (PINTO, 1999; KATZ e BAUM, 2010; SAÉZ et. al., 2012). Também Dias (2013) e Kern et. al. (2015), desenvolveram um estudo buscando analisar os resíduos gerados na produção de obras residenciais verticais, bem como a influência das variáveis de projeto arquitetônico e sistema produtivo na geração de resíduos dos mesmos. O estudo gerou um modelo estatístico para caracterizar as variáveis relativas ao projeto e ao sistema de produção que impactavam de forma significativa a geração de resíduos nessas obras, e obteve uma melhor aproximação estimada, comparado com estimativas de literatura.

Porém, na sua maioria, os métodos de quantificação de RCD publicados tratam da geração de resíduos de obras como um todo. Em se tratando de métodos de quantificar os resíduos de madeiras, encontram-se estudos que investigam o resíduo de madeira gerado a partir das formas de compensado utilizadas na execução de estruturas de concreto armado em obras

verticais (LU et al., 2011; MOSMANN, 2011). Permanece, porém, a necessidade de considerar, além das formas de compensado, a madeira utilizada na confecção das instalações provisórias e dos equipamentos de proteção coletiva, já que os mesmos abrangem a totalidade dos resíduos de madeira gerados em obras verticais, e causam impactos econômicos e ambientais.

## **1.2 OBJETIVOS**

Diante deste cenário são apresentados os objetivos a seguir.

### **1.2.1 Objetivo geral**

Proposta e validação de um modelo para estimar a geração de resíduos de madeira de uso provisório em obras de edifícios verticais, segundo características de projeto e de execução das mesmas.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos são:

- Definir quais variáveis influenciam a geração de resíduo de madeira;
- Analisar como as variáveis impactam a geração de resíduo de madeira;
- Testar o modelo proposto.

## **1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA**

O trabalho está dividido em 5 capítulos. No primeiro capítulo, a introdução contextualiza o cenário da construção civil, o problema da geração de resíduos e a justificativa para o estudo do resíduo da madeira. Na sequência, são apresentados o objetivo principal e os objetivos específicos, bem como a estrutura da pesquisa e a delimitação do trabalho.

No segundo capítulo, é apresentada a revisão bibliográfica pertinente ao trabalho: a madeira como material de construção; os usos temporários da madeira no canteiro de obras bem como os impactos ambientais causados.

No terceiro capítulo é apresentado o delineamento da pesquisa, bem como o método de pesquisa e suas etapas de execução.

No quarto capítulo, os resultados alcançados são apresentados e discutidos. Finalizando, o quinto capítulo apresenta as conclusões geradas, com proposições de trabalhos futuros.

#### **1.4 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO**

As seguintes delimitações devem ser ponderadas nesta pesquisa:

- o resíduo de madeira estudado constitui exclusivamente o gerado nas obras pelo uso provisório da madeira, desconsiderando a madeira utilizada de forma definitiva;

- as obras estudadas localizam-se na região metropolitana de Porto Alegre, o que possibilita avaliar somente as características da região. Buscaram-se dados de obras verticais de, no mínimo, 4 pavimentos, a fim de estudar a influência da repetição dos mesmos na geração dos resíduos de madeira, durante a etapa de execução;

- as empresas são de pequeno e médio porte, uma vez que empresas de grande porte não demonstraram interesse em participar da pesquisa. As empresas de pequeno porte executam de 1 a 2 obras, no máximo, concomitantemente, e todas empregam, na madeira de uso provisório, técnicas convencionais comumente utilizadas na região;

- foram coletados dados de 22 obras, a fim de atingir um tamanho de amostra que possibilitasse descartar dados que pudessem induzir ao erro na obtenção dos resultados.

- o volume de resíduo de madeira não considera fator de empolamento nas caçambas de coleta.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo apresenta uma revisão da literatura acerca de conceitos utilizados no desenvolvimento da pesquisa, bem como a contextualização da madeira: a madeira como material de construção, as formas de aplicação no uso provisório em obra e seus impactos ambientais;

### 2.1 A MADEIRA COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO

A madeira é um material orgânico proveniente do crescimento de um ser vivo de grande abundância e variabilidade. As variações das suas características se dão em função do meio ambiente em que a árvore se desenvolve (ZENID, 2011). A esta variabilidade acrescenta-se que a madeira é originada de diferentes espécies de árvores, cada qual com características anatômicas, físicas e mecânicas próprias. Segundo Petrucci (1980), a madeira é provavelmente o mais antigo material de construção a ter sido utilizado pelo Homem. Ao ser utilizada como material de engenharia, suas propriedades e produtos à base de madeira devem ser cuidadosamente estudadas por engenheiros e arquitetos (ROSS, R. J., 2010). Quando comparada a outros materiais de construção, podem ser citadas algumas vantagens e desvantagens que incorporam características técnicas, econômicas e estéticas (BAUER, 2013), sendo algumas delas descritas na Tabela 1.

**Tabela 1 – Vantagens e desvantagens do uso da madeira**

VANTAGENS	DESVANTAGENS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• É obtida em grandes quantidades e a um preço relativamente baixo;</li> <li>• É um material muito fácil de ser trabalhado com ferramentas manuais simples ou máquinas;</li> <li>• Pode ser reempregada várias vezes;</li> <li>• Resiste bem a esforços de compressão e tração na flexão;</li> <li>• Resistência mecânica superior ao concreto e peso próprio reduzido;</li> <li>• Permite fáceis ligações e emendas;</li> <li>• Possui resiliência que permite absorver choques que romperiam ou fendilhariam outro material;</li> <li>• Possui grande variedade de padrões devido ao seu aspecto natural;</li> <li>• Possui baixo consumo de energia para seu processamento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• É diretamente afetada pela umidade presente, que degrada suas propriedades e gera tensões internas;</li> <li>• Sua natureza biológica a submete aos diversos mecanismos de deterioração existentes na natureza;</li> <li>• Altamente susceptível ao fogo;</li> <li>• É um material heterogêneo e anisótropo;</li> <li>• Bastante vulnerável aos agentes externos;</li> <li>• Quando desprotegida, sua durabilidade é limitada;</li> <li>• Possui formas limitadas, de seção transversal reduzida;</li> <li>• Aumenta e diminui suas dimensões de acordo com a variação da umidade, mesmo depois de transformada.</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Petrucci (1980), Zenid (2011) e Bauer (2013)

A produção de peças de madeira para obra inicia com o corte das árvores e desenvolve-se na toragem, falqueamento, desdobro e aparelhamento das peças (BAUER, 2013). De acordo com Adeodato et al. (2011), uma correta cadeia de produção de uma madeira nativa pode ser dividida nas seguintes etapas:

a) extração - deve existir um plano de manejo visando reduzir impactos, manter o estoque genético e permitir a exploração futura dentro de padrões sustentáveis. A operação é regulamentada por leis e portarias, e feita sob responsabilidade do proprietário rural, empresa madeireira ou de um terceiro, e deve ser aprovada junto a órgãos ambientais;

b) transporte - a madeira, cortada em toras, é geralmente transportada por rios ou estradas para as serrarias, e deve ser acompanhada por um guia florestal, que comprova a origem e o destino do produto;

c) processamento primário - as toras são transformadas em pranchas nas serrarias, sendo que metade da madeira se perde como resíduo, podendo ser reaproveitado como carvão para produção de olarias. Em serrarias menores e mais precárias, o desperdício pode ser maior;

d) consumo final - a maioria da madeira beneficiada serve para exportação e uso nos centros urbanos, o restante é consumido no mercado regional. A construção civil e a indústria moveleira são os principais consumidores desse produto;

e) depósitos de madeira - uma grande parcela desse produto é comprada por depósitos comerciais ou armazéns para revenda no mercado ou, em menor quantidade, diretamente para consumo final;

f) processamento secundário - a madeira serrada é processada por plainas que a transformam em piso laminado, decks, tacos, rodapés, esquadrias, painéis e outros materiais mais refinados para a construção civil e movelaria. Com os resíduos são fabricados diversos produtos.

No Brasil, a madeira é originária basicamente da região amazônica, sendo que as madeiras extraídas dos reflorestamentos implantados nas Regiões Sul e Sudeste já suprem a construção civil. Além disso, a possibilidade de produção sustentada nas florestas nativas e plantadas, e nas modernas técnicas de silvicultura empregadas nos reflorestamentos permitem alterar a qualidade da madeira de acordo com o seu uso final desejado (Zenid, 2011).

O produto originário da madeira bruta pode ser dividido basicamente entre madeira roliça – muito utilizada em escoramentos de lajes - e serrada, sendo essa última a mais utilizada

na construção civil. A Tabela 2 e a Tabela 3 apresentam as nomenclaturas das peças de madeira serrada e os padrões de dimensões, de acordo com o aproveitamento racional da matéria-prima (ABNT NBR 7203:1982):

**Tabela 2 – Nomenclatura de peças de madeira serrada**

NOME DA PEÇA	ESPESSURA (cm)	LARGURA (cm)
Pranchões	>7,0	>20,0
Prancha	4,0 – 7,0	>20,0
Viga	>4,0	11,0 – 20,0
Vigota	4,0 – 8,0	8,0 – 11,0
Caibro	4,0 – 8,0	5,0 – 8,0
Tábua	1,0 – 4,0	>10,0
Sarrafo	2,0 – 4,0	2,0 – 10,0
Ripa	>2,0	<10,0

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 7203:1982

**Tabela 3 – Dimensões de madeira serrada**

NOME DA PEÇA	DIMENSÕES DE SEÇÃO TRANSVERSAL (cm)
Pranchão	7,5 x 23,0 – 10,0 x 20,0 – 15,0 x 23,0
Vigas	5,0 x 15,0 – 5,0 x 20,0 – 7,5 x 11,5 – 7,5 x 15,0 – 15,0 x 15,0
Caibros	5,0 x 6,0 – 5,0 x 7,0 – 7,5 x 5,0 – 7,5 x 7,5
Sarrafos	2,2 x 7,5 – 3,8 x 7,5
Tábuas	2,5 x 11,5 – 2,5 x 15,0 – 2,5 x 23,0
Ripas	1,2 x 5,0

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 7203:1982

Outro tipo de madeira bastante empregado na construção civil são os painéis de madeira. Segundo Zenid (2009), os painéis, ou chapas de compensado, surgiram no início do século XX para suprir a necessidade de melhor aproveitamento e redução de custos, frutos da transformação de toras em painéis de grandes dimensões. O painel de compensado pode ser composto de lâminas desenroladas, unidas perpendicularmente às outras através de adesivos ou colas, fornecendo maior estabilidade e possibilitando que algumas propriedades físicas e mecânicas sejam superiores às da madeira original. Segundo o mesmo autor, sua espessura pode variar de 3 a 35 mm, com dimensões de 2,10 x 1,60 m, 2,75 x 1,22 m e 2,20 x 1,10 m (a mais comum).

Por se tratar de um material bastante heterogêneo, para a escolha da madeira correta em um determinado uso conforme o desempenho requerido, a NBR 7190 “Projeto de Estruturas de madeiras” (ABNT, 1997) estabeleceu classes de resistência de acordo com o tipo de madeira. Para estabelecer essas classes, foram consideradas propriedades físicas como densidade de massa básica e massa aparente, resistência de compressão paralela às fibras de cisalhamento e de rigidez com a definição de módulos de elasticidade. A Norma buscou uniformizar a escolha da madeira por sua espécie, primando por suas características requeridas.

Diversos tipos de madeira podem ser utilizados na construção civil. Em se tratando de instalações provisórias de obras, além do uso das chapas de compensado, Peñaloza (2015) constatou, num estudo sobre Sistemas de Proteções Periféricas (SPP) de obras, que todos os projetos especificavam o uso de madeira da espécie *eucalyptos saligna*. No entanto, a mesma não resistia a longos períodos de exposição na periferia da edificação, seja pelo uso como pelas condições de temperatura e umidade à qual fica exposta. Segundo estudo feito pelo Sinduscon-SP (2011), as madeiras do tipo pinus e eucalipto foram as mais utilizadas nas obras estudadas.

A Tabela 4 apresenta os tipos de madeira e de chapas de compensado mais utilizados na construção civil como uso temporário.

**Tabela 4 – Tipos de madeira**

Especificações			
	Pinus Elioti e Pinus Taeda.		Compensado cola branca (não resiste à água).
	Cedrinho.		Compensado cola fenólica (resistente à água).
	Eucalipto Saligna e Eucalipto spp.		Compensado plastificado (resistente à água).
	Madeiras para escoramento Eucalipto spp.		Chapa OSB (para tapumes e barracos de obra)

O uso da madeira na construção civil pode ter diversos objetivos. Zenid (2009) divide a aplicação da madeira em dois grandes grupos. Na construção civil pesada, pode ser utilizada para confecção de estacas marítimas, trapiches, dormentes ferroviários, vigas, caibros e estruturas de cobertura. Já na construção civil leve, além do uso temporário durante a fase de execução da obra, pode ser utilizada como forros e painéis, portas, venezianas e aberturas em geral. Pode ser empregada na construção de edifícios residenciais e comerciais, casas, pontes, viadutos, entre outros, e de forma definitiva ou temporária.

Para Sobral et al. (2002), a madeira de uso definitivo é utilizada em esquadrias, forros, pisos, estruturas em geral, de cobertura, e de vedação (casas pré-fabricadas). Como uso temporário, durante a fase de execução da obra, é possível citar o uso em instalações provisórias como canteiros e tapumes, na execução de formas de concreto, escoramentos, andaimes como plataformas de trabalho e como sistemas de proteções periféricas, ou coletivas (MOSSMANN, 2011; PEÑALOZA, 2015).

Para a produção de um produto feito por um processo industrializado, é necessário utilizar-se de uma infraestrutura adequada. Essa infraestrutura se compõe de instalações que proporcionem que materiais, equipamentos e mão-de-obra possam ser alocados adequadamente a fim de se obter o produto final desejado. No caso de uma obra de construção, o objetivo é basicamente o mesmo. No entanto, algumas singularidades são observadas. Conforme Limmer (1997), uma obra de construção civil pode ser considerada como uma fábrica móvel, na qual operadores e materiais movimentam-se em torno do produto final. Essa movimentação de materiais e de estruturas de apoio (p.ex., formas, andaimes e escoramentos) bem como a execução de escavações, estruturas e trabalhos em altura, aliados à grande rotatividade da mão de obra, geram riscos que comprometem a segurança do trabalho nos canteiros de obras. Essa fábrica, por durar um curto período de tempo, existe de forma provisória.

### **2.1.1 Instalações provisórias de madeira**

A partir do momento em que o terreno é ocupado pela empresa que irá construir, e que as primeiras instalações provisórias são executadas, tem-se o início de um canteiro de obras.

O canteiro de obras, segundo a NR-18 (BRASIL, 2015), é a “*área de trabalho fixa e temporária, onde se desenvolvem operações de apoio e execução de uma obra*”. Já a NBR 12284:1991 da ABNT conceitua como “*áreas destinadas à execução e apoio dos trabalhos da indústria da construção, dividindo-se em áreas operacionais e áreas de vivência*”.

Também segundo a NR-18 (BRASIL, 2015), as áreas de vivência de uma obra são áreas destinadas a atender às necessidades básicas de alimentação, higiene, descanso, lazer, entre outros, e devem ficar fisicamente separadas das áreas operacionais. Suas instalações principais são as instalações sanitárias, vestiário, refeitório, podendo necessitar de outras instalações, tais como cozinha, alojamentos, lavanderia, ambulatório, de acordo com o porte e número de trabalhadores. A mesma norma orienta que as áreas de vivência devem ser mantidas em perfeito estado de conservação, higiene e limpeza, promovendo a produtividade dos mesmos, o que pode ocasionar a substituição de materiais deteriorados pelo uso e intempéries.

Ainda segundo Frakenfeld (1990) um *layout* deve ser entendido como a disposição física de homens, materiais e equipamentos, áreas de trabalho e de estoque de materiais, bem como a disposição racional de diversos serviços de uma empresa. Neste caso, planejar o *layout* das instalações provisórias de uma obra significa planejar seu canteiro de obras.

Na execução de instalações provisórias de obras, comumente são empregadas madeiras e chapas de compensado em sua totalidade. No entanto, outras soluções alternativas existentes no mercado podem reduzir consideravelmente o uso da madeira. Segundo Saurin e Formoso (2006) para definir qual sistema a ser utilizado em determinada obra, é necessário avaliar segundo critérios de: custos de aquisição, de implantação e manutenção, reaproveitamento, durabilidade, facilidade de montagem e desmontagem, isolamento térmico e impacto visual.

Diversos materiais têm sido pesquisados para reaproveitamento e redução do consumo da madeira na construção civil. Um deles é o container, amplamente utilizado em outros países. No Brasil, embora seu uso acabe ainda sendo um pouco restrito, pois se não houver isolamento térmico, há reclamação por parte dos funcionários em relação ao calor excessivo (SAURIN e FORMOSO, 2006).

O Manual de Gestão Ambiental de Resíduos Sólidos na Construção Civil, elaborado por Novaes e Mourão (2008) recomenda, entre outras, a utilização de containers metálicos como canteiros de obras, banheiros e refeitórios, pois reduzem a quantidade de madeiras e chapas de compensado utilizadas de forma provisória, além de reduzir o entulho gerado pelos mesmos.

Em estudo realizado por Oliveira e Athayde Júnior (2014) no município de João Pessoa - PB, a substituição de madeira e de compensado pelo uso de containers também foi pontuado, na aplicação de uma metodologia visando à minimização da geração de resíduos da construção civil em obras daquele município. Já nos municípios de São Carlos, Ribeirão Preto e Araraquara - SP, Oliveira e Serra (2006) identificaram em cinco obras de uma mesma construtora, a utilização de cenários mistos com o uso de madeira e de containers para a execução das instalações provisórias: cenários com o uso de containers e alvenaria para os mesmos (cômodos da edificação em construção); e cenários com uso somente de madeira, sem identificar os motivos da escolha por cada opção. Contudo, o fato de que as obras eram da mesma empresa pode indicar que não havia um procedimento padronizado definido.

Embora haja carência de dados sobre os tipos de materiais ou sistemas a serem utilizados nas instalações provisórias, Birbojm e Souza (2002) apontaram, em estudo sobre o tema, as principais alternativas para as instalações provisórias. Além do sistema tradicional em chapas e madeira compensada e dos containers metálicos já citados, os autores destacam os sistemas pré-fabricados de madeira (sistema modular); construções metálicas desmontáveis e construções em fibras de vidro. São sistemas modulares, industrializados, possuem maiores mobilidade e possibilidade de reaproveitamento, além de maior tempo de vida útil. Os autores também citam o aproveitamento de áreas da edificação em construção, tais como térreo e subsolo, para uso como escritórios, áreas de vivência e almoxarifado, onde as chapas em madeiras, telas de aço e a própria alvenaria definitiva pode ser utilizada.

### **2.1.2 Sistemas de proteção coletiva em madeira**

Oferecer boas condições de trabalho também significa garantir condições adequadas de segurança. É uma obrigação garantida por lei, e deve estar contemplada na gestão da Segurança e Saúde no Trabalho (ONU, 1948; BRASIL, 1988; BRASIL, 1943).

O desempenho de materiais e os sistemas construtivos visam ao usuário final. Já as instalações provisórias de uma obra e os sistemas de proteção coletiva são de uso dos trabalhadores, enquanto em construção, e que também possuem necessidades. De acordo com a pirâmide de necessidades humanas proposta por Maslow e Stephens (2000), que trata das necessidades humanas, a necessidade de segurança aparece na base da pirâmide, o que significa uma necessidade muito relevante.

A construção civil é uma das indústrias mais perigosas para trabalhar, segundo Carter e Smith (2006). Pesquisas publicadas em outros países mostram que a vulnerabilidade a acidentes, incluindo risco de morte de operários da construção civil é maior à de outras indústrias (HSE, 2000; KARTAM, 1997). Já no Brasil, os Anuários Estatísticos da Previdência Social (AEPS, 2013) indicam que a construção é o 3º setor mais vulnerável a acidentes, perdendo apenas para os setores da indústria e serviços.

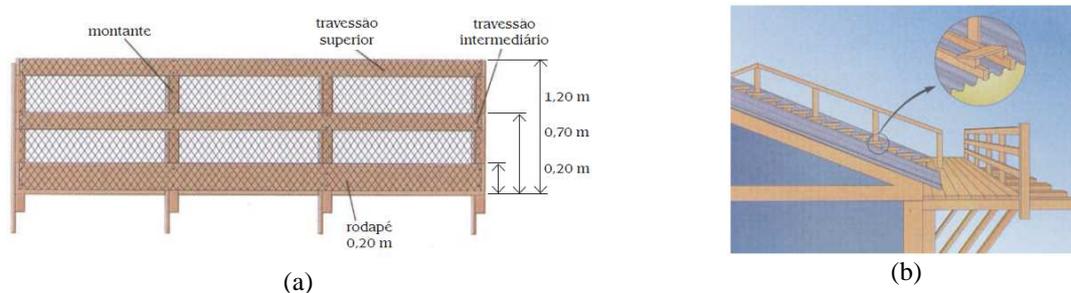
Em levantamento feito pelo Ministério do Trabalho e Emprego no Estado do Rio Grande do Sul (BRASIL, 2008), entre agosto de 2001 e dezembro de 2007, a construção civil foi o setor que teve mais óbitos por acidente do trabalho, sendo 75 o número de mortes em obras, correspondente a 33,63% do total. Desses, 58% ocorreram na construção de edifícios, e 31,8% foram ocasionados por quedas, seguidos de exposição a forças mecânicas inanimadas e exposição à corrente elétrica. Dentre os riscos de quedas, o MTE destaca os principais:

- a) Queda durante a realização de serviços em telhado (22,5%);
- b) Queda em ou de andaime suspenso mecânico ou de andaime simplesmente apoiado (16,9%);
- c) Queda de periferia de edificação (7%);
- d) Queda de equipamento de guindar ou transportar pessoa ou material (5,6%);
- e) Outras quedas de um nível a outro (9,9%).

Os princípios da segurança do trabalho estão baseados na prerrogativa de que as medidas de ordem geral ou coletiva devem ser prioritárias em relação ao uso de equipamentos de proteção individual, conforme descrito na NR-06 (BRASIL, 2015). Diante dessa prerrogativa, os sistemas de proteção coletiva (SPC) necessitam possuir a capacidade de proteger mais de um trabalhador simultaneamente, e não necessitar de ações adicionais por parte dos trabalhadores, conforme *Health and Safety Executive* (HSE, 2012).

Os SPC podem ser feitos de diversos tipos de materiais, sendo que os principais são a madeira e o metal (PEÑALOZA, 2015). Além do uso adequado, a movimentação, execução, montagem e desmontagem agregam riscos. Também, podem ocupar grande volume de estoque de materiais, e gerar grande quantidade de resíduos, basicamente em se tratando da madeira.

Em relação aos acessos temporários, a Fundacentro (2011) especifica a madeira como o principal material a ser aplicado na construção dos mesmos. As instruções de conservação, por exemplo, recomendam aplicar duas demãos de verniz claro ou óleo de linhaça quente, proíbe a pintura com tinta para não encobrir nós, rachaduras e outros defeitos na madeira, sem especificar outros materiais. A Figura 1 apresenta detalhamentos de alguns dos sistemas de proteção coletiva recomendados pela Fundacentro, indicando o uso da madeira.



**Figura 1 – (a) detalhamento de um sistema de guarda-corpo e rodapé e (b) Proteção coletiva na construção de cobertura**

Fonte: Fundacentro (2011)

Em relação aos Sistemas de Proteção Contra Quedas de Altura, a mesma também recomenda madeira e estrutura metálica para os mesmos. Por se tratar de orientações emitidas por um órgão ligado diretamente ao Ministério do Trabalho e Emprego, as empresas tendem a optar, em sua maioria, por usar a madeira, sem cogitar outros materiais. Segundo Peñaloza (2015), além da madeira e do metal, os sistemas de proteção coletiva podem ser feitos de aço, alumínio, plástico ou polímeros de alto desempenho, entre outros.

### 2.1.3 Formas de concreto armado e escoras para estrutura

Para a execução das estruturas em concreto armado feitas *in loco*, se faz necessária a utilização de formas e escoras. Os principais materiais utilizados em sua confecção são a madeira, o metal, o plástico e o papelão, sendo que o principal material utilizado em edifícios no Brasil é a madeira (NAZAR, 2007).

Segundo Barros e Melhado (2006), para confecção do molde – que fica em contato direto com a estrutura – o material mais comumente utilizado tem sido as chapas de compensado, com acabamento resinado, para possibilitar a sua reutilização.

As formas, ou sistema de formas, são componentes constituídos pelo molde, estrutura do molde, acessórios e outros componentes. Em estruturas convencionais, servem de base para a execução de pilares, vigas e lajes. São responsáveis por garantir resistência mecânica à ruptura e à deformação, estanqueidade, estabilidade dimensional, atuar como limitador do posicionamento da armadura e não aderir nem influenciar nas características do concreto, além de garantir a segurança da estrutura enquanto em construção, bem como dos trabalhadores (FAJERSZTAJN E LANDI, 1992; BARROS E MELHADO, 2006; NAZAR, 2007). A Figura 2 apresenta um sistema estrutural convencional, onde as lajes se apoiam nas vigas, e as vigas nos pilares.

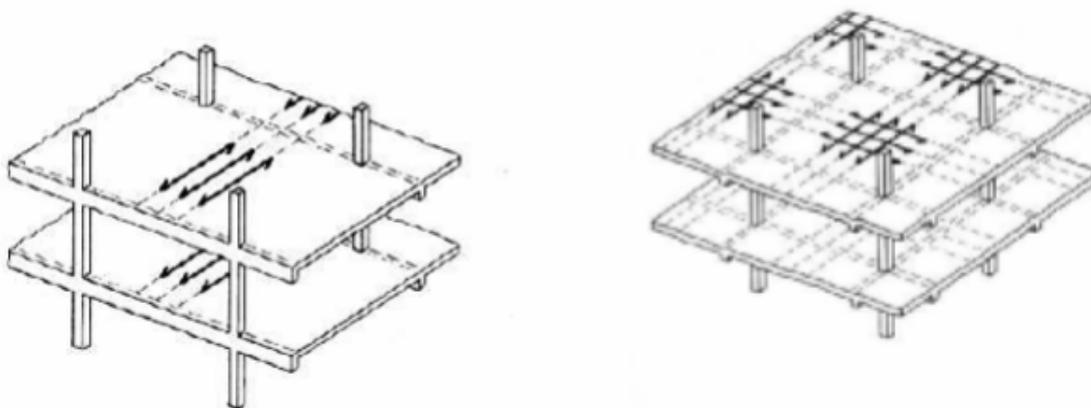
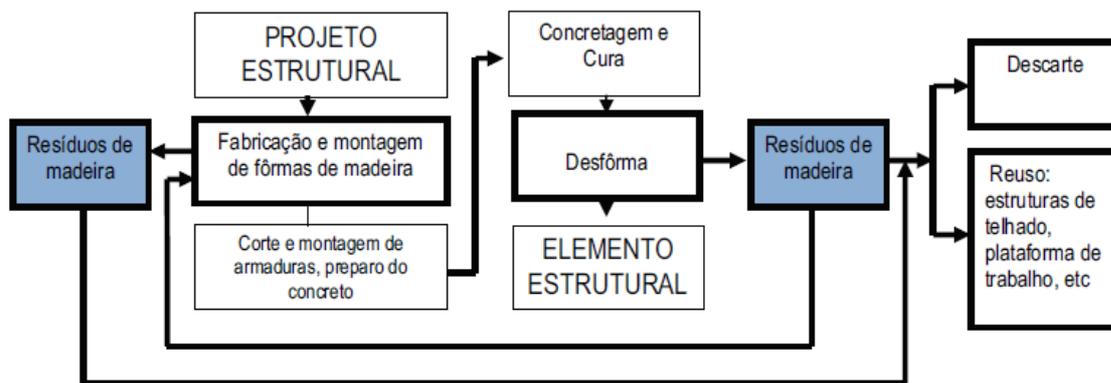


Figura 2 – Sistema estrutural convencional

Fonte: Barros e Melhado (2006)

A estrutura de uma edificação é definida em seu projeto estrutural, a qual especifica o tipo de armadura e de concreto, seus espaçamentos e suas dimensões, que servirão de fonte para a confecção do sistema de formas. A Figura 3 apresenta um esquema básico de uma estrutura de concreto armado moldada *in loco*.



**Figura 3 – Esquema de uma estrutura de concreto armado moldada *in loco***

Fonte: Mossmann (2011)

Segundo Nazar (2007), o custo das formas de um edifício vertical pode variar de 25% até 30% do custo total de uma obra, compreendendo um período em torno de 50% a 60% do período total de execução. Em relação à execução um pavimento tipo, o custo de uma forma de compensado estimado é de aproximadamente 10%, enquanto que em um pavimento que não se repete, o autor estima um custo aproximado de 46% em relação ao custo da estrutura. Segundo Sobral et al. (2002), o consumo percentual de madeira utilizado para confecção de andaimes e formas de concreto em uma obra atinge cerca de 30% da madeira total utilizada, enquanto que 80% da madeira utilizada na confecção das fundações e estrutura de prédios é descartada (IMAZON, 2009).

Poon, Yu e Jaillon (2004), demonstraram que os resíduos de madeiras originados de formas de concreto são responsáveis por 30% dos resíduos gerais de obras estudadas em Hong Kong, sendo considerada a principal fonte geradora. Em busca de soluções, estudos recentes indicaram que o uso de sistemas de estruturas de concreto pré-fabricados (ou pré-moldados) reduziu o resíduo de madeira gerado pelas formas numa faixa entre 70% e 87%, para edificações comerciais e residenciais executados na mesma cidade (JAILLON et al., 2009; TAM et al., 2005).

Mossmann (2011) realizou um estudo através um programa computacional de plano de corte utilizado pelo setor moveleiro, para a otimização do corte de chapas de compensado

empregadas em formas de concreto armado. O estudo foi aplicado ao plano de corte das formas de duas obras no município de Novo Hamburgo – RS, sendo uma delas uma edificação comercial e outra residencial. A obra comercial era composta de três pavimentos, com área total de 1.621,07m<sup>2</sup>. A residencial, composta de doze pavimentos e área total de 3.988,96m<sup>2</sup>. Ao utilizar o programa computacional no planejamento do corte das formas, o estudo conseguiu simular a redução em 31,79% a quantidade de chapas utilizadas na obra de edificação comercial, e 13,06% na obra de edificação residencial. Os resultados evidenciam que um bom planejamento desde a fase de projeto reduz o consumo de madeira, e conseqüentemente os resíduos gerados também.

Diante dos dados, observa-se que há grande consumo do material empregado, podendo variar de acordo com o número de reutilização das mesmas, e levando as empresas a buscarem sistemas mais industrializados e com necessidade de maior planejamento, onde não há tanto desperdício.

## **2.2 O USO DA MADEIRA NA CONSTRUÇÃO E OS IMPACTOS AMBIENTAIS**

O crescimento da economia de um país geralmente acarreta aumento do consumo de materiais e insumos. Segundo Metha (1999), o consumo em crescimento se dá tanto em países industrialmente ricos quanto em países industrialmente pobres, pela garantia da manutenção e/ou melhoria da qualidade de vida. Assim, segundo Motta e Aguilar (2009), deve-se propor soluções de maior eficácia no uso dos recursos naturais, de menor impacto ambiental e justiça social, atrelados a valores éticos. Ou seja, a sociedade está buscando um novo modelo de desenvolvimento que apresente um novo paradigma, definido como desenvolvimento sustentável.

Desde 1983 a ONU adota o conceito de desenvolvimento sustentável como “*aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades*”. Já a Comissão de Trabalho W082, criada pelo *International Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB)*, na Primeira Conferência Internacional sobre Construção Sustentável, que ocorreu em Tampa em 1994, definiu construção sustentável como “*a criação e o gerenciamento responsável de um ambiente construído saudável baseado na eficiência do uso de recursos e princípios ecológicos*” (BORDEAU, 1999).

Em se tratando da madeira florestal, foi criada em 1993 a *Forest Stewardship Council*, uma organização independente, não governamental, sem fins lucrativos, com o

objetivo de promover o manejo florestal responsável ao redor do mundo. A organização possui o selo FSC<sup>®</sup>, que é um instrumento de mercado que diferencia produtos da floresta que são obtidos a partir de princípios ambientais, sociais e econômicos, no âmbito mundial, ou seja, obtidas a partir de manejo florestal (FSC, 2014). Segundo a FSC (2014), manejo florestal significa *“a extração seletiva de madeira e outros produtos florestais com impacto reduzido na floresta, a partir do mapeamento das espécies e técnicas que conservam as funções ecológicas do ambiente e permitem a regeneração vegetal para uso futuro”*.

Com a busca dos consumidores por produtos que causam menor impacto ao meio ambiente, o selo FSC<sup>®</sup> garante a rastreabilidade da madeira utilizada. Segundo a FSC (2014), rastreabilidade pode ser entendida como o *“controle desde a extração da floresta nativa ou plantada, passando por todos os processos de manufatura até a venda ao consumidor, com a garantia de que o produto final tem origem na área de manejo alvo da certificação. Nas etapas de beneficiamento, assegura-se que não haverá mistura de matéria-prima certificada com a convencional ou que essa combinação aconteça dentro das regras”*.

Nesse contexto, é importante salientar também a diferença entre madeira legal e madeira certificada. O guia Aquisição Responsável de Madeira na Construção Civil, criado pelo Sinduscon-SP (2011), define:

- madeira legal - aquela que cumpre todos os requisitos previstos na lei quanto à documentação (emitida pelo órgão ambiental federal ou estadual) e pode vir tanto de manejo florestal como de desmatamento, desde que autorizado pelos órgãos ambientais;

- madeira certificada - aquela que não só tem a documentação de acordo com a lei, mas também que não degrada o meio ambiente e que contribui para o desenvolvimento social e econômico das comunidades florestais.

O guia, criado pelo Sinduscon do Estado de São Paulo em parceria com a *World Wide Found for Nature (WWF)*, tem como objetivos oferecer ao setor da construção civil subsídios para que o setor possa entender melhor a importância do uso de madeira legal nas edificações, além de orientar como as empresas de construção civil podem garantir a aquisição de madeira de procedência legal e viabilizar a aquisição de madeira certificada, garantindo assim a rastreabilidade.

Para embasar melhor o guia, foi realizado um estudo sobre o consumo de madeira entre seis construtoras participantes. Entre 2009 e 2010 as seis construtoras consumiram 17.997,07m<sup>3</sup> de madeira, sendo que 14.535,34m<sup>3</sup> (79,74%) provêm de madeira de

reflorestamentos (pinus e eucalipto) e 19,23% a madeira tropical, ou 3.461,73m<sup>3</sup>, oriunda da floresta Amazônica. As obras estudadas foram de edifícios residenciais e comerciais de múltiplos andares. O estudo concluiu uma substituição considerável da madeira nativa por madeira de reflorestamento. Essa realidade vai ao encontro da sustentabilidade, pois além de ser mais barata, com menor frete e aparentemente com menos problemas de legalidade, a madeira de reflorestamento tem sido a alternativa encontrada pelas construtoras para suprir a demanda crescente por madeira, principalmente, nas primeiras fases da obra (SINDUSCON-SP, 2011).

Se para a sustentabilidade da madeira serrada o manejo correto de florestas nativas e as madeiras de reflorestamento são considerados como boas soluções, para as chapas de compensado que se valem de resinas e outros ligantes químicos, a situação é diferente. Sobre uma possível reciclagem das chapas de compensado, a Portaria N° 009/2012, de 08 de fevereiro de 2012, lançada pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – RS (FEPAM, 2012), proíbe o uso como combustível em quaisquer processos de geração de calor por combustão. A Portaria esclarece que os ligantes químicos utilizados junto à madeira possuem ação poluente à atmosfera.

Ratajczak et al. (2015) destacam que, para o reaproveitamento do resíduo de madeira pós-consumo, são necessárias tecnologias especiais para a segregação, limpeza e preparação para reutilização, devido ao fato de a madeira utilizada ser composta por pequenas frações e muito fortemente sobrecarregados com substâncias químicas, como é o caso das chapas de compensado.

Reciclar e/ou reutilizar a madeira de uso provisório de uma obra não é tarefa fácil. De acordo com estudo feito por César, Costa e Cunha (2009), aproximadamente 70% da madeira com potencial de reciclagem de obras analisadas estava contaminada por outros materiais como pregos, tintas, cimentos, preservativos, plastificantes. E ainda que haja possibilidade de remoção destes contaminantes, nem sempre a obra está disposta a fazer isso, preferindo descartar o resíduo.

Mossmann (2011), em levantamento realizado na Região da Grande Porto Alegre, relata que a maioria das empresas transportadoras e aterros que recebem resíduos da construção, destinam a madeira para olarias e outras empresas que a utilizam como combustível para queima em fornos. Porém, as informações não foram claramente definidas, levando a concluir que estão dispondo o material irregularmente nos municípios pesquisados (Porto Alegre, Regiões do Vale dos Sinos e Vale do Caí). Nas construtoras, o estudo realizado pela autora

revela que a maioria armazenava o resíduo de madeira em obra, sem separação por tipo e tamanho. A madeira era recolhida separadamente dos demais materiais, porém, as empresas desconheciam o destino final do resíduo de madeira, embora também sejam responsáveis por sua destinação.

O estudo de Mossmann (2011) finaliza com a evidência de que há um grave problema de descarte final do resíduo de madeira de construção a ser solucionado na região. Os resultados apontaram para uma falta de integração entre todos os agentes envolvidos (órgãos fiscalizadores, empresas construtoras, transportadores e receptores) e que o destino da madeira que ocorre na prática, nem sempre é o adequado.

As formas de madeira para estrutura de concreto foram responsáveis pelas maiores quantidades de resíduo, juntamente com o resíduo de concreto, segundo Lu et al. (2011). As soluções propostas para diminuir a geração de resíduos foram o emprego de trabalhadores mais habilidosos, melhorias no armazenamento da madeira e a substituição das mesmas por formas metálicas.

Outros pesquisadores buscam no resíduo de madeira originado de obras, fonte para geração de combustível ou queima em fornos. Por exemplo nos EUA, país que consome grande quantidade de madeira para a construção de residências unifamiliares, a pesquisa de Ward, Mackes e Lynch (2004) teve por objetivo determinar a disponibilidade de resíduos de madeira e de outros resíduos para utilização como combustível em fornos de cimento e usinas localizadas ao longo da Front Range Colorado, região mais populosa do Estado do Colorado. O estudo conclui que os custos de recuperação apresentaram uma barreira significativa para utilizar esse material como combustível alternativo.

No Brasil a importância da madeira pode ser evidenciada, por exemplo, pela criação do Protocolo Madeira é Legal (SÃO PAULO, 2009). Assinado em março de 2009 por um grupo de 23 instituições, dentre eles o Governo do Estado de São Paulo, o protocolo tem por objetivo induzir práticas sustentáveis em favor da conservação e do desenvolvimento econômico da floresta Amazônica, principal fornecedor de madeira para a construção civil do país. Segundo Adeodato et al. (2011), o Estado de São Paulo é responsável pelo consumo de 17% da madeira nativa consumida, e sobretudo pela construção civil.

### **2.2.1 A quantificação de resíduos de madeira**

Diversas pesquisas têm sido realizadas no intuito de quantificar e/ou buscar caracterizar o volume de resíduos gerados em obras. No entanto, no tocante à madeira, por

diversas vezes somente é quantificado o percentual em relação ao volume total estudado. Mália, Brito e Bravo (2011) compararam o volume de resíduos gerados em obras com estrutura em madeira, concreto e alvenaria, indicando que edificações com estrutura em concreto apresentam menor volume de madeira, pois é originado somente das formas de madeira utilizadas. O mesmo estudo apresenta dados de levantamentos anteriores feitos por Pereira (2002), Maña I Reixach (2000) e Bergsdal, Bohne e Brattebø (2007), os quais indicam que o volume de resíduo de madeira variou entre 8,3% e 14,58% em relação ao volume total das obras estudadas. No entanto, a caracterização das obras e a quantificação da madeira não foram citadas. Já Katz e Baum (2010) englobaram o resíduo de madeira aos não recicláveis, correspondendo essa categoria a 18% do total.

Lu et al. (2011) apontam taxas de resíduo de madeira oriundas das formas para concreto armado moldadas in loco, sem incluir ou indicar demais resíduos de madeira que possam ter sido gerados na confecção de demais usos provisórios.

Segundo levantamento feito por Mossmann (2011), com foco nos resíduos da madeira utilizada em obras, os valores obtidos diferem muito, fato explicado por se tratarem de obras, regiões, critérios e métodos de pesquisa distintos (SARDÁ, 2003; VASCONCELLOS, 2004; COSTA, 2007; MIRANDA, ÂNGULO e CARELLI, 2008; FARESIN e MELO, 2009). Portanto, é difícil comparar resultados, já que os estudos consideram diferentes unidades de medidas (volume ou massa). Já o estudo feito por Yuba (2001), sobre o uso de madeira serrada de eucalipto na construção, constatou que a falta de dados disponíveis atualizados e confiáveis dificulta o interesse pelas empresas em investimento no reaproveitamento da madeira utilizada.

Em países onde há grande consumo de madeira na construção civil, a análise do resíduo originado pela madeira possui grande impacto econômico no setor. Esse cenário pode ser observado no estudo feito por Ratajczak et al. (2015) na Polônia, país que possui grande quantidade de casas unifamiliares e pequenas edificações construídas em madeira. A pesquisa objetivou determinar o volume de recursos de madeira pós-consumo (resíduo) criado pelo setor da construção na Polônia em 2013, com base no ciclo de vida útil da madeira. O estudo, que incluiu a madeira utilizada em instalações provisórias de obras, concluiu que no ano de 2013 foram gerados 3,4 milhões de m<sup>3</sup> de resíduos provenientes de madeira de construção, o que corresponde a aproximadamente 10% da madeira retirada de floresta nativa para esse fim.

Segundo dados da *Environmental Protection Agency* apud Ward, Mackes e Lynch (2004), no ano de 1998, a madeira oriunda de resíduos de construção e demolição de obras dos EUA correspondia a 16% de obras não residenciais e 42% para obras residenciais, sendo esse

último o principal material gerador de resíduo. Segundo Tchobanoglous *apud* Barros (2012), o resíduo de madeira de obras dos EUA corresponde a aproximadamente 28% do volume total, sendo considerada a maior proporção de resíduos, comparado aos demais.

Conforme já descrito, existe na literatura trabalhos acadêmicos dedicados à quantificar os RCD. No entanto, segundo Dias (2013), os métodos existentes foram baseados em cenários com características específicas, e que impactam diretamente na quantidade de resíduos, sendo constatados também, desvios significativos (PINTO, 1999; MAÑA I REIXACH et al., 2000; KATZ e BAUM, 2010; SAÉZ et al., 2012).

Buscando melhorias na quantificação dos RCD, Dias (2013) propôs um modelo estimado de quantificação dos resíduos gerados em obras residenciais verticais, analisando a influência das variáveis de projeto arquitetônico e de sistema produtivo. O estudo obteve uma capacidade de explicação de 69% da geração de resíduos de obras com características semelhantes, além de uma melhor aproximação estimada, se comparado aos métodos de quantificação acima citados.

Ainda assim, a carência por métodos de quantificação de resíduos específicos (tais como a madeira) permanece, bem como incluir todos os usos provisórios a que a madeira se destina em uma obra, e obtendo assim, um método estimado de quantificação específico para esse resíduo. Baseado na metodologia adotada por Dias (2013), o presente trabalho espera preencher a lacuna referente aos resíduos de madeira gerados em obras verticais, estimando um método de quantificação voltado ao resíduo de madeira.



### **3 MÉTODO DE PESQUISA**

Este capítulo tem por objetivo descrever o método de pesquisa utilizado na obtenção dos resultados. Define o problema e as questões de pesquisa, as etapas de execução, os objetos de estudo e as fontes de evidência que foram utilizadas para resolução dos questionamentos. Visa também, descrever os tipos de obras que serviram como objeto de estudo, a coleta e o método de tratamento dos dados.

#### **3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA**

A relevância de uma pesquisa se dá quando não se dispõe de informações suficientes para responder a um problema proposto, ou caso as informações disponíveis sobre o tema se encontrem em estado de desordem que não se possa relacioná-las adequadamente ao problema (GIL, 2010). O mesmo autor enfatiza a importância da realização de um correto planejamento da pesquisa, que pode ser definido como o processo sistematizado mediante o qual se pode conferir maior eficiência à investigação para, em um determinado prazo, alcançar as metas estabelecidas. Primeiramente, deve-se definir quais são os objetivos e questionamentos a serem respondidos:

“Como as características de projeto e de execução de uma obra vertical impactam a geração de resíduos de madeira?” “Como obter os dados pertinentes à pesquisa?” “Quais variáveis influenciam a geração de resíduo de madeira?”

A realização da pesquisa ocorreu mediante 3 etapas, apresentadas na Figura 4 que mostra o delineamento da pesquisa.

OBJETIVO GERAL: Proposta e validação de um modelo para estimar a geração de resíduos de madeira de uso provisório em obras de edifícios verticais, segundo características de projeto e de execução das mesmas			
ETAPAS	QUESTÕES DE PESQUISA	OBJETO DE ESTUDO	FONTES DE EVIDÊNCIA
ESTUDO PILOTO	Como obter os dados pertinentes à pesquisa?	Obras do estudo piloto	Dados coletados Observação <i>in loco</i> Projetos
COLETA DOS DADOS	Como as características de projeto e de execução de uma obra vertical impactam a geração de resíduos de madeira?	Obras do estudo geral	Dados coletados Observação <i>in loco</i> Projetos
TRATAMENTO DOS DADOS	Quais variáveis influenciam a geração de resíduo de madeira?		Análise estatística

**Figura 4 – Delineamento da pesquisa**

A estratégia de pesquisa utilizada foi o estudo de casos múltiplos. Segundo Yin (2015), o estudo de caso trata de uma visão empírica de um fenômeno dentro de seu contexto, o qual o pesquisador tem pouco ou nenhum controle sobre os eventos. Ainda, busca resolver questões do tipo “como” e “porque” os eventos ocorrem. Pode-se dizer também, que um estudo de caso consiste em um estudo profundo e exaustivo de um ou mais objetos, permitindo assim seu conhecimento amplo e detalhado.

Como fontes de evidência, foram coletados os dados através de entrevistas, feitas pessoalmente com os responsáveis técnicos das obras objeto de estudo, observações *in loco* e análise de projetos. Segundo Martins (2012), a multiplicidade de fontes de evidência é fundamental para a confiabilidade dos dados coletados, já que as fontes diversas podem se reforçar ou não, aumentando assim a validade interna da pesquisa. A análise estatística foi utilizada como ferramenta de análise dos dados coletados.

### 3.2 ETAPA 1 – ESTUDO PILOTO

A primeira etapa do trabalho teve como questão de pesquisa “*como obter os dados pertinentes à pesquisa?*”. Buscou-se identificar como as empresas registram os dados necessários (principalmente o volume de resíduos de madeira), identificar as possíveis dificuldades na coleta de dados, bem como outras variáveis importantes a serem consideradas na aplicação da pesquisa. Segundo Forza (2002), é justificada a realização de um estudo piloto em pesquisas exploratórias, a ser realizado com uma parte da amostra.

Nesta etapa da pesquisa foram buscados dados de resíduos de madeira de obras de uma empresa construtora localizada em Porto Alegre, que atua no segmento de construção de edifícios residenciais na mesma cidade. Nos 54 anos de atuação, já construiu 100 edifícios e possui estrutura basicamente familiar, considerada de pequeno porte segundo definição da Lei Complementar 123/2006 (BRASIL, 2006).

Foram utilizados dados das obras denominadas C3 e C4, ambas em Porto Alegre, sendo a primeira localizada em bairro nobre, e considerada de alto padrão, enquanto a obra C4 localizada em bairro de classe média, de médio padrão. A Figura 5 apresenta imagens das obras.



**Figura 5 – (a) imagem da obra C3 e (b) imagem da obra C4**

Fonte: Material de divulgação da empresa (2016)

A coleta de dados deu-se em 2 momentos, em um período de 15 dias. Primeiramente, através de reunião na sede da construtora, onde foram coletados os dados de características de projeto das obras do estudo piloto, bem como do volume de resíduos de madeira gerados. Num segundo momento, foi feita uma visita à obra C4, que ainda estava em andamento, para que fossem observados os dados referentes à execução da obra e analisar o emprego de madeira no seu uso temporário. Ambas foram acompanhadas pelo responsável da

execução das obras, onde foi possível sanar dúvidas e fazer os questionamentos necessários. Cabe comentar que, embora a obra C3 estava concluída no momento de realização do estudo, a mesma já estava em observação pelo pesquisador antes do início da pesquisa, pois o pesquisador atuava como Engenheiro de Segurança do Trabalho.

Tanto a coleta de dados quanto a visita à obra foram feitas por 2 pesquisadores. A coleta do volume de resíduos foi feita através do levantamento dos boletos de notas emitidas pela empresa contratada pela construtora para a retirada de resíduos, a qual identifica o tipo, bem como o volume de material retirado da obra. A madeira era coletada em caçambas de 4 ou de 6 m<sup>3</sup>, sendo que cada boleto identificava o tipo de caçamba utilizado.

Diante dos dados coletados referentes ao volume de resíduos de madeira, e considerando que a empresa responsável pela coleta dos resíduos trata-se de uma empresa que presta o mesmo serviço em diversas obras em Porto Alegre, concluiu-se que a coleta do dado “volume de resíduos de madeira” era possível, identificado pelo número de caçambas multiplicado pela capacidade de volume individual.

### **3.3 ETAPA 2 - COLETA DE DADOS**

Para a etapa de coleta dos dados foi definida, inicialmente, a aplicação de uma amostragem não probabilística, do tipo por conveniência. Gil (2010) salienta que um levantamento por amostragem tem como principais vantagens o conhecimento direto da realidade, economia, rapidez e quantificação através de uma análise estatística. Segundo Mattar (1996), a amostragem não probabilística é aquela em que a seleção da amostra que representa a população depende, ao menos, em parte do julgamento do pesquisador. Já a amostragem por conveniência é quando elementos são incluídos na amostra sem probabilidades previamente definidas, e tem a vantagem de facilitar a escolha da amostra e a coleta de dados (ANDERSON, SWEENEY e WILLIAMS, 2014).

Os mesmos autores também explicam que, se a variável estudada possui distribuição normal de probabilidade, o tamanho de amostra pode ser calculado a partir da distribuição normal de estudo.

Para definir o tamanho mínimo da amostra e o número de variáveis a serem utilizadas no modelo, e tomando por referência a pesquisa feita por Dias (2013) para o volume de resíduos de obras, a qual atingiu um valor de 69,4% da variância explicada do modelo estatístico ( $R^2$  ajustado), foi utilizado o software estatístico *G\*Power*®. O resultado estabeleceu que a amostra deveria obter um mínimo de 14 dados (obras) e 10 variáveis (características das

obras) a fim de se atingir o mesmo percentual de capacidade de explicação. A Figura 6 mostra os resultados sobre o tamanho da amostra.

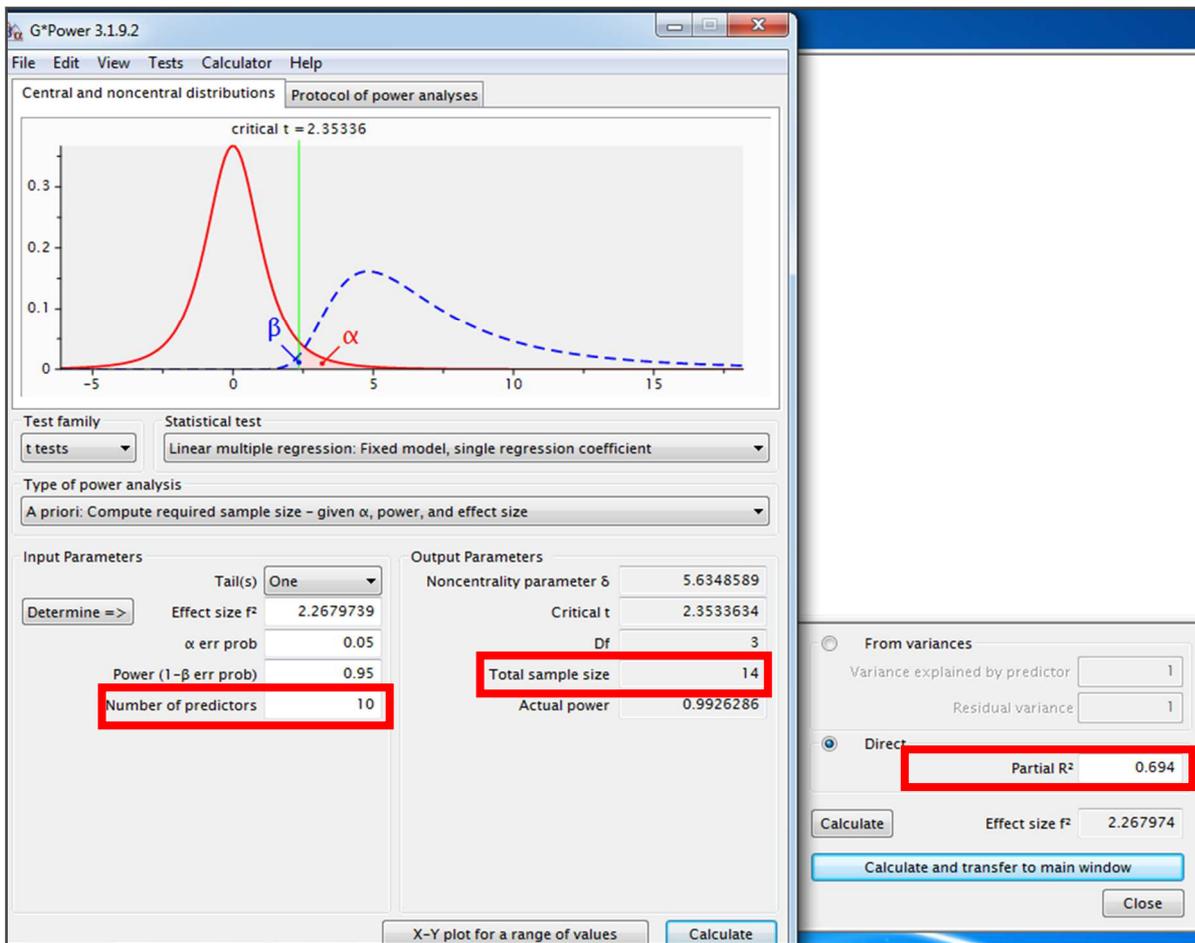


Figura 6 – Definição da amostra com o uso do software estatístico *G\*Power*®

### 3.3.1 Descrição das empresas

A Tabela 5 apresenta as 11 empresas construtoras participantes da pesquisa, sua localização, anos de atuação no mercado, o porte da empresa, segmento principal de atuação e a produção de obras verticais executadas até o presente momento.

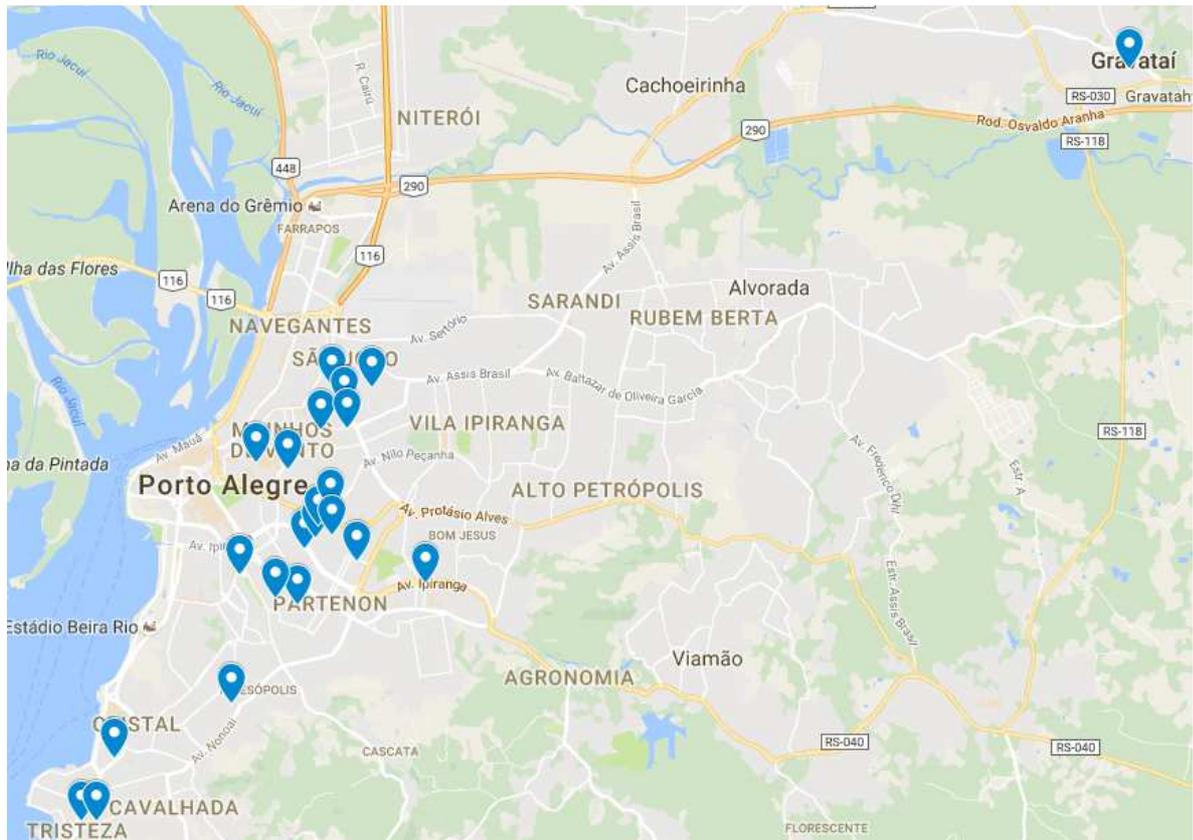
Tabela 5 – Empresas construtoras participantes da pesquisa

<b>Empresa</b>	<b>Cidade</b>	<b>Atuação (anos)</b>	<b>Porte</b>	<b>Segmento</b>	<b>Produção (obras verticais)</b>
A	Porto Alegre	40	Pequeno	Construção Civil	20
B	Porto Alegre	5	Pequeno	Construção e Incorporação	1
C	Porto Alegre	54	Pequeno	Construção de edifícios	100
D	Porto Alegre	18	Médio	Construção de edifícios	12
E	Porto Alegre	16	Médio	Construção de edifícios	12
F	Porto Alegre	6	Pequeno	Construção de edifícios	3
G	Porto Alegre	12	Pequeno	Construção de edifícios	2
H	Gravataí	4	Pequeno	Construção de edifícios	1
I	Porto Alegre	7	Pequeno	Construção de edifícios	6
J	Porto Alegre	13	Pequeno	Construção e Incorporação	2
K	Porto Alegre	22	Pequeno	Construção de edifícios	20

O principal segmento de atuação prevalece o da construção e incorporação de edifícios, sendo que algumas também se dedicam à construção de obras residenciais unifamiliares. Algumas empresas possuem considerável número de anos de atuação no mercado se comparado ao número de obras verticais construídas. Isso se deve ao fato de que algumas empresas iniciaram suas atividades construindo obras residenciais unifamiliares, para depois migrar ou ampliar o segmento de atuação para obras verticais.

### **3.3.2 Descrição das obras estudadas**

Ao todo, dados de 22 obras foram coletados. Destas, 21 se localizam em Porto Alegre e 1 em Gravataí (Região Metropolitana). A Figura 7 apresenta a localização das obras participantes da pesquisa.



**Figura 7 – Localização das obras participantes da pesquisa**

Fonte: Google Maps (2016)

O número de pavimentos e o período de execução das mesmas, ressaltado pelo período de realização da pesquisa, são apresentados na Figura 8. A identificação das obras estudadas (primeira coluna) é feita pela empresa (letra) e obra (número).

OBRA	Nº pav	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
A1	13									
B2	9									
C3	12									
C4	10									
D5	10									
D6	9									
D7	14									
E8	13									
E9	11									
E10	11									
E11	11									
E12	15									
F13	5									
G14	7									
H15	7									
I16	11									
I17	6									
J18	6									
J19	4									
K20	15									
K21	12									
K22	12									

**Figura 8 – Período de execução das obras**

No período de coleta de dados, 11 obras já haviam sido concluídas (C3, D5, D7, E11, E11, E12, I6, J18, J19, K20 e K21), 9 se encontravam em fase de finalização (A1, C4, E8, E9, F13, G14, H15, I17 e K22) e apenas 2 estavam em andamento (B2 e D6). Importante ressaltar que as 9 obras em fase de finalização declararam que já haviam retirado todo o resíduo de madeira existente quando foi realizada a pesquisa, sendo que a madeira restante seria reaproveitada em obras futuras e/ou em andamento. Já quanto às obras B2 e D6 foi declarado que não haveria retirada de grande volume de resíduo de madeira, sendo a quantidade de resíduo restante estimada pelos responsáveis com base no volume gerado até o momento.

A etapa de coleta de dados compreendeu um período de 3 meses. Nesse período as sedes das empresas e as obras em andamento foram visitadas para que suas características pudessem ser avaliadas pelos pesquisadores. Os agendamentos das entrevistas e visitas às obras deram-se mediante disponibilidade dos seus responsáveis. Os dados foram armazenados através de planilhas do *Excel*®, levantamento fotográfico e cópias digitais dos projetos. Dez empresas, de um total de onze, possuíam obras em andamento. A empresa J já havia finalizado as obras estudadas, desta forma, as informações foram coletadas através de entrevistas com o responsável técnico e observação de fotos das etapas de execução.

Um fato importante de ser salientado é que não houve dificuldade em coletar dados referentes a características de projeto e de execução das obras. No entanto, ao questionar o volume de resíduos de madeira, embora algumas empresas tivessem os dados devidamente registrados, muitas, inicialmente, não tinham fácil acesso aos mesmos. Foi necessário, então,

buscar possíveis registros nas obras, nos setores de compra e/ou contabilidade, e em entrevistas com os responsáveis pela execução das obras, para se chegar aos valores utilizados na pesquisa. Todas as empresas concordaram haver a necessidade de aprimorar o acompanhamento e registro dos dados, para uma maior precisão dos resíduos gerados em obra, sejam eles de madeira, bem como os demais resíduos.

### **3.3.3 Dados coletados: variável dependente e variáveis independentes**

Os dados que seriam coletados nas obras foram sendo definidos de forma dinâmica. Primeiramente, antes da etapa de contextualização, foram definidos alguns dados que foram identificados como relevantes no uso temporário de madeira, tais como, o volume de concreto, a área construída, o sistema produtivo das obras. No entanto, ao longo da realização do estudo piloto e da coleta de dados em si, outros dados foram sendo identificados como pertinentes para o estudo. Sugestões dos entrevistados, referências de pesquisas anteriores, e a própria necessidade do pesquisador em identificar alguns fenômenos pertinentes à geração de resíduo de madeira foram sendo incluídos, até a conclusão do banco de dados final.

A seguir, são descritas a variável dependente (volume de resíduos de madeira) e as variáveis independentes (características de projeto e de execução), utilizadas para a geração do modelo.

#### **3.3.3.1 Variável dependente – volume de resíduos de madeira**

Para estimativa no modelo de regressão, o volume de resíduos de madeira foi definido como a variável dependente. Segundo Hair et al. (2014), a variável dependente, ou variável de resposta, é o efeito suposto na resposta, de uma alteração nas variáveis independentes. Conforme descrito anteriormente, o número de caçambas de madeira retirado das obras na forma de resíduo foi multiplicado pelo seu volume, não considerando o fator de empolamento das caçambas.

#### **3.3.3.2 Variáveis independentes – características de projeto**

As variáveis independentes adotadas para estudo do fenômeno correspondem a características de projeto e características de execução das obras, e que podem estar impactando significativamente a variável dependente. As características de projeto são todas consideradas dados quantitativos. Segundo Anderson, Sweeney e Williams (2014), os dados quantitativos requerem valores numéricos que indicam quantificação.

Foram coletados através dos projetos arquitetônicos e estruturais. São elas:

- Número de pavimentos - número total de pavimentos construídos, segundo projeto arquitetônico, medido de unidades;

- Subsolo - número de pavimentos construídos em subsolo, segundo projeto arquitetônico, medido em unidades;

- Altura - altura da edificação, segundo projeto arquitetônico, medida em metros (m);

- Área do pavimento tipo - área construída, considerando 1 único pavimento, denominado tipo, segundo projeto arquitetônico, medida em metros quadrados ( $m^2$ );

- Área total - área total construída da edificação, segundo projeto arquitetônico, medida em metros quadrados ( $m^2$ );

- Tipo/Total - relação entre a área do pavimento tipo e a área total construída, adimensional;

- Nº tipo/ Nº total - relação entre o número de pavimentos tipo e o número total de pavimentos construídos, segundo projeto arquitetônico, adimensional;

- Área de formas - área de formas, feitas em madeira, para a execução das estruturas em concreto armado da edificação, segundo projeto estrutural, medida em metros quadrados ( $m^2$ );

- Volume de concreto - volume de concreto armado executado, segundo projeto estrutural, medida em metros cúbicos ( $m^3$ );

- Área total/ Volume de concreto - relação entre a área total construída e o volume de concreto armado executado, segundo dados dos projetos arquitetônico e estrutural, medida em metros quadrados/ metros cúbicos ( $m^2/m^3$ );

- Área de formas/ Volume de concreto - relação entre a área de formas e o volume de concreto armado, segundo projeto estrutural, medida em metros quadrados/ metros cúbicos ( $m^2/m^3$ );

### 3.3.3.3 Variáveis independentes – características de execução

As características de execução das obras possuem dados quantitativos e qualitativos. Os dados qualitativos, por se tratarem de uma escala de medição ordinal ou nominal, requerem conversão em valores numéricos para serem utilizadas no modelo como quantitativos. Segundo Martins (2012), dados qualitativos são utilizados quando se quer refletir

uma realidade subjetiva da pesquisa, podendo interferir na construção de uma realidade objetiva. Outro dado qualitativo utilizado foi do tipo *Dummy* que, segundo Hair et al. (2014), é um dado que não possui variabilidade métrica, mas que é transformada em variável métrica através de atribuição ou 0 ou 1 a um sujeito, caso ele possua ou não uma característica particular.

As características de execução visam explicar o grau de influência da gestão das obras, das tomadas de decisões por parte dos responsáveis pelas mesmas, e o impacto na geração do resíduo de madeira. Também, identificar o nível e/ou a quantidade de madeira utilizada na confecção das formas de compensado, do uso ou ausência de escoras de madeira para as estruturas de concreto armado, seu emprego na confecção das proteções coletivas e instalações provisórias das obras. São elas:

- Sistema produtivo (1 a 3) - foi utilizada a escala proposta por Dias (2013), que varia de 1 a 3, de acordo com o nível de industrialização da obra. A Tabela 6 define os níveis de classificação do sistema produtivo.

**Tabela 6 – Classificação do sistema produtivo**

Escala	Descrição
1	Sistema artesanal: obras com estrutura em concreto armado moldado no local, alvenaria de vedação sem paginação, alvenaria de divisão interna em tijolos, corte e dobra do aço realizado no canteiro, produção de argamassa no canteiro e poucos equipamentos de transporte na obra.
2	Sistema intermediário quanto à industrialização: obras com estrutura em concreto armado moldado no local, alvenaria de vedação sem paginação, alvenaria de divisão interna em tijolos, corte e dobra do aço industrializados, emprego de argamassa industrializada, utilização de alguns componentes pré-fabricados e alguns equipamentos de transporte na obra. Também são consideradas como sistema produtivo duas obras executadas no sistema construtivo de alvenaria estrutural onde houve emprego de argamassa industrializada, utilização de alguns componentes pré-fabricados e alguns equipamentos de transporte na obra.
3	Sistema construtivo com práticas industrializadas: obras com estrutura em concreto armado moldado no local, alvenaria de vedação externa em blocos racionalizados com projeto de paginação, toda a alvenaria de divisão interna dos apartamentos no sistema Druwall, corte e dobra do aço industrializados, emprego de argamassa industrializada, utilização de componentes pré-fabricados, ampla aplicação de equipamentos de transporte na obra e emprego da filosofia da construção enxuta, especialmente ao que diz respeito de abastecimento otimizado de materiais nos postos de trabalho (ferramentas de gestão como “ <i>kanban</i> e <i>just in time</i> ”).

Fonte: Dias (2013)

- Sistema de gestão (1 a 5) - busca classificar em escala o nível do sistema de gestão de uma obra. A Tabela 7 define os níveis de classificação do sistema de gestão.

**Tabela 7 - Classificação do sistema de gestão**

Escola	Descrição
1	Nenhum sistema de gestão identificado.
2	Sistema de gestão não identificado, porém, identificadas algumas ferramentas de controle de qualidade.
3	Sistema de gestão não identificado, porém, foram identificadas ferramentas de controle de qualidade aplicadas.
4	Sistema de gestão identificado, porém, em implementação, ou pouca aplicabilidade prática.
5	Sistema de gestão claramente identificado e implementado.

- Qualidade das formas (1 a 3) - escala que define o potencial de reaproveitamento de formas de madeira para a execução das estruturas de concreto armado, segundo o tipo de chapas de compensado utilizadas e o nível de controle da gestão da obra. A Tabela 8 define os níveis de classificação.

**Tabela 8 – Classificação da qualidade das formas**

Escola	Descrição
1	Formas utilizadas de baixa qualidade e pouca capacidade de reaproveitamento (prevalecendo 14 mm, sem proteção por resina); sem planejamento por parte dos responsáveis pela execução (levantamento de quantitativo e cobrança do mestre); sem planejamento e preocupação com o reaproveitamento por parte do mestre de obras e sem orientação para a equipe de carpinteiros; não se preocupa em reutilizá-las em outras obras; as escoras são em madeira.
2	Formas utilizadas de boa qualidade (prevalecendo 18 mm, resinada ou plastificada); preocupação dos responsáveis pela obra quanto ao reaproveitamento das formas; orientação para a equipe de carpinteiros, por parte do mestre, quanto ao cuidado no reaproveitamento das formas; o responsável pela obra conhece o índice de reaproveitamento esperado pela empresa; a obra utiliza formas metálicas ou locadas (parcial); procura reutilizá-las em outras obras; as escoras são mistas (madeira e metálica).
3	Formas utilizadas de boa qualidade (exclusivamente 18 mm ou superior, resinada ou plastificada); planejamento efetivo para o reaproveitamento de formas por parte dos responsáveis pela execução; cobrança no mestre quanto à aplicação do planejamento do reaproveitamento das formas; orientação e cobrança, por parte do mestre, quanto ao reaproveitamento das formas para a equipe de carpinteiros; o responsável pela obra conhece a taxa de reaproveitamento esperado pela empresa e busca soluções para atingi-la ou superá-la. A obra utiliza formas metálicas ou locadas (parcial); reutilizá-as em outras obras; as escoras são metálicas.

- Índice de reuso de formas - relação entre o número de pavimentos construídos e o número de jogos de formas de compensado utilizados na execução das estruturas de concreto armado. O número de jogo de formas de compensado é um dado empírico, no entanto, todos os responsáveis pelas obras o possuam, e julgaram importante para avaliar o consumo de material utilizado, uma vez que caracteriza o nível de repetição e reaproveitamento do mesmo.

- Depósito e/ou outras obras (sim ou não) - variável *Dummy* que identifica se a empresa possui ou não depósito de materiais e/ou obras que possam receber a madeira utilizada, evitando assim o descarte e possibilitando o reaproveitamento. Caso a resposta fosse “não”, era atribuído o valor (0), e caso a resposta fosse “sim”, era atribuído o valor (1).

- Tapume - medida linear do tapume de obra confeccionado, no caso do emprego de madeira. O dado foi obtido através de projeto de áreas de vivência, verificação *in loco* e/ou conforme informação do responsável técnico (m);

- Áreas de vivência - dependências construídas em madeira para as áreas de vivência, também extraídos de projetos, verificação *in loco* e/ou informação do responsável técnico (m<sup>2</sup>);

- Índice de uso da madeira (0 a 10) - foi considerada a possibilidade do uso da madeira na confecção das seguintes instalações provisórias e proteções coletivas: canteiro de obras, tapumes, pisos de andaime fachadeiro, bandejas e guarda-corpo de proteção. A taxa de uso da madeira foi obtida através da relação entre o emprego da madeira em comparação às possibilidades, multiplicando a relação por 10. Por exemplo: se a obra possuía canteiro, tapume, bandeja e guarda-corpo, mas a madeira foi utilizada somente na confecção do canteiro, bandeja e guarda-corpo, o resultado obtido era conforme demonstrado na Equação 1.

$$\text{Índice} = \frac{\text{uso da madeira}}{\text{possibilidades uso}} \times 10 = \frac{3}{4} \times 10 = 7,5$$

**Equação 1**

Onde:

Índice = índice de uso da madeira na obra;

Uso da madeira = uso da madeira na confecção das instalações provisórias e/ou proteções coletivas da obra;

Possibilidades de uso = número de instalações provisórias e/ou proteções coletivas da obra.

- Escoras (sim ou não) - Identifica se as escoras utilizadas na obra foram em madeira ou não. Caso as escoras fossem em sistema misto, ou seja, de madeira e metálicas, considerou-se como sendo utilizada, ou seja, emprega madeira nas escoras da obra. Não havendo escoras de madeira, era atribuído o valor (0), e havendo emprego de madeira, era atribuído o valor (1).

Finalizada a etapa de coleta de dados, percebeu-se que a inclusão de variáveis, bem como as sugestões dos entrevistados, promoveu significativa contribuição para o entendimento do fenômeno estudado. Por se tratar de um estudo exploratório, possibilitar esse dinamismo

garantiu que a etapa seguinte dispusesse de dados suficientes para a geração do modelo obtido ao final da pesquisa.

### 3.4 ETAPA 3 - TRATAMENTO DOS DADOS

Concluídas as etapas de estudo piloto e da coleta de dados, iniciou-se a etapa de tratamento dos mesmos. A variável dependente (Y) e as variáveis independentes (X) foram analisadas utilizando a regressão múltipla. As variáveis independentes estão relacionadas com a variável dependente – volume de resíduo de madeira – sendo a possível causa de qualquer alteração na mesma (HAIR, 2014). Segundo Hair (2014), a regressão múltipla é uma técnica estatística utilizada para analisar a relação entre 1 única variável dependente e diversas variáveis independentes. Seu objetivo é prever o valor dependente único utilizando os valores independentes já conhecidos.

Os dados coletados foram inseridos no software *Statistical Packpage for the Social Sciences* (SPSS) da IBM®. Após a inserção dos dados, iniciaram-se as análises estatísticas que geraram as relações existentes entre a variável dependente e as variáveis independentes, a fim de explicar as questões de pesquisa, ou seja, as variáveis de definem o volume de resíduos de madeira gerado nas obras, bem como seus graus de influência.

A análise proposta pode ser representada pela Equação 2.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p + \varepsilon$$

**Equação 2**

Onde:

y = variável dependente;

$\beta$  = parâmetros ou coeficientes

x = variáveis independentes para p variáveis;

$\varepsilon$  = erro.

A Figura 9 apresenta um desenho esquemático das etapas da análise estatística realizada.



**Figura 9 – Etapas da análise estatística**

Primeiramente, realizou-se a análise descritiva para se compreender a distribuição das variáveis. Para a verificação da normalidade da variável dependente, foram realizados testes estatísticos de Kolmogorow-Smirnov e Shapiro-Wilk, e a análise dos gráficos de normalidade, de dispersão e diagrama de caixa (boxplot). Para definição das correlações entre as variáveis independentes e a dependente, foi realizada a Correlação de Pearson, a um nível de significância  $\alpha = 0,05$  (ou p-valor), para definição das variáveis mais significativas, aplicáveis ao modelo.

Na sequência, foram realizados testes para geração do modelo de regressão, até ser atingido o modelo mais adequado, segundo os coeficientes de determinação ( $R^2$  ajustado), bem como seu nível de significância  $\alpha$ .

Com o modelo de regressão estabelecido, foi obtida a Equação 3, definida como a Equação de Regressão Múltipla Estimada, e que pode ser utilizada para estimar o volume de resíduos de madeira de uma obra, a partir dos dados obtidos.

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_p x_p + \varepsilon \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

$\hat{y}$  = valor estimado da variável dependente;

$b$  = estimativas de  $\beta$  para  $p$  variáveis;

$x$  = variáveis independentes para  $p$  variáveis;

$\varepsilon$  = erro.

Ao final, foi aplicado o modelo para calcular o volume de resíduo de madeira das 22 obras e comparar com o volume de resíduo gerado, informado pelas empresas.

## **4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

O capítulo apresenta os dados coletados nas etapas de estudo piloto e do estudo propriamente dito, bem como os resultados obtidos no tratamento dos dados. Também analisa as informações recebidas e observadas, e apresenta o modelo estimado obtido a partir das análises realizadas, ao final.

### **4.1 RESULTADOS OBTIDOS NO ESTUDO PILOTO**

As duas obras observadas no estudo piloto são pertencentes à mesma empresa. Foram denominadas C3 e C4 e inseridas ao estudo final. Ambas foram executadas pelo mesmo responsável técnico e possuem características construtivas semelhantes, tais como estrutura em concreto armado, blocos em alvenaria assentados com cola polimérica e reboco em argamassa industrializada. Embora a empresa não possua ainda um sistema de gestão identificado, a primeira obra possuía poucas ferramentas de controle de qualidade se comparada à segunda obra. A empresa não possui programa de certificação, e executa suas obras integralmente com recursos próprios.

Devido a problemas de gestão e de embargos pelo Ministério do Trabalho e Emprego, a empresa passou por algumas transformações no período do estudo. Os embargos de obras anteriores ocasionaram uma preocupação em segurança do trabalho. O andaime fachadeiro é considerado o principal investimento, pois apesar do custo, proporciona amplo acesso aos trabalhos de revestimentos e acabamentos de fachada, além de maior segurança para os trabalhadores.

A Figura 10 mostra fotografias das obras do estudo piloto, na fase de execução, juntamente com os andaimes fachadeiros.



**Figura 10 – (a) Obra C3 e (b) Obra C4**

As obras possuíam como sistemas de proteção coletiva andaime fachadeiro e guarda-corpo, e como instalações provisórias o canteiro de obras (barracos para escritório, vestiários, banheiros e refeitório) e o tapume. Foram todos confeccionados em chapas de compensado e madeira serrada de eucalipto branco (pranchões, vigas e caibros). A Figura 11 mostra as instalações provisórias utilizadas nas obras.



**Figura 11 – (a) Sanitário da obra C3 e (b) Canteiro da obra C4 sendo executado**

Em relação ao uso e reaproveitamento da madeira, bem como a geração de resíduos da mesma, foi observada grande diferença entre as duas obras. Na segunda obra (C4), o sistema de gestão empregado utilizou conceitos da filosofia da Produção Enxuta, introduzidos pelo responsável técnico, o que gerou a otimização do material utilizado. Embora as instalações provisórias e os sistemas de proteção coletiva tenham sido integralmente confeccionados em madeira, observou-se uma preocupação em reaproveitar o máximo possível. A expectativa inicial era atingir um reaproveitamento da madeira do andaime fachadeiro da obra C3 para a

obra C4 em torno de 70%, no entanto, o reaproveitamento considerado, segundo o responsável técnico, foi inferior a 30%. Ações das intempéries, cortes desnecessários e contaminação da madeira com cimento, concreto e outros produtos químicos, foram apontados como os principais fatores para o baixo desempenho. Mesmo assim, diante da ausência de metas de reaproveitamento passada, a empresa considera ter evoluído nesse quesito.

Em relação ao reaproveitamento das formas de concreto armado, ambas utilizaram chapas de compensado de 18 mm plastificadas. Havia uma preocupação em utilizá-las de forma racional quanto ao corte e ao reuso, embora a empresa não possua dados históricos desse reaproveitamento. As obras utilizaram escoras de madeira e metálicas, sendo que aproximadamente 20% eram em madeira.

Quanto ao índice de reuso de formas, o responsável técnico informou que inicialmente adquiriu 2 jogos de formas, o que equivale à área de formas para a execução de dois pavimentos. No entanto, por falta de um controle adequado, foi necessário comprar o equivalente a 0,5 jogo de forma a mais para a conclusão das estruturas. Na obra seguinte, a obra atingiu a meta de executar toda a estrutura utilizando somente dois jogos.

Embora a empresa pudesse destinar a madeira reaproveitável de uma obra para outra, alguns fatores contribuíram para a grande geração de resíduo de madeira. Além do processo de melhorias na gestão e do uso de escoras em madeira, o uso desse material para a confecção dos pisos e rodapés do andaime fachadeiro contribuíram significativamente para a elevada geração de resíduo. No entanto, de uma obra para outra o volume gerado sofreu uma redução de 304 m<sup>3</sup> para 92 m<sup>3</sup>, uma diferença superior a três vezes no volume total de resíduo de madeira gerado.

A madeira, assim como os demais resíduos, é depositada em caçambas e retirada pela transportadora. Materiais contaminados como tintas, vernizes, sacos de cimento não possuem controle quanto ao volume gerado e destinação, sendo classificados pela empresa como lixo. A Figura 12 apresenta fotos dos resíduos gerados nas obras.



**Figura 12 – (a) Resíduo de madeira armazenado em C3 e (b) armazenado em C4**

Em relação ao registro de resíduo gerado, C3 e C4 possuem dados registrados através de boletos emitidos pela empresa que retira os mesmos, e a quantificação do resíduo de madeira foi coletado com base nos boletos apresentados. Já, quanto às obras realizadas anteriores a essas, por a empresa não possuir controle e registro dos resíduos gerados, impossibilitou incluir dados de obras passadas.

#### **4.2 APRESENTAÇÃO DOS DADOS COLETADOS**

Os dados foram coletados nas 22 obras das 11 empresas de estudo. Os mesmos consistem em 20 variáveis independentes que definem as características de projeto e de execução. As variáveis independentes geram a variável dependente, objeto da pesquisa. A Figura 13 apresenta imagens de algumas das obras estudadas.



**Figura 13 – Imagens das obras estudadas**

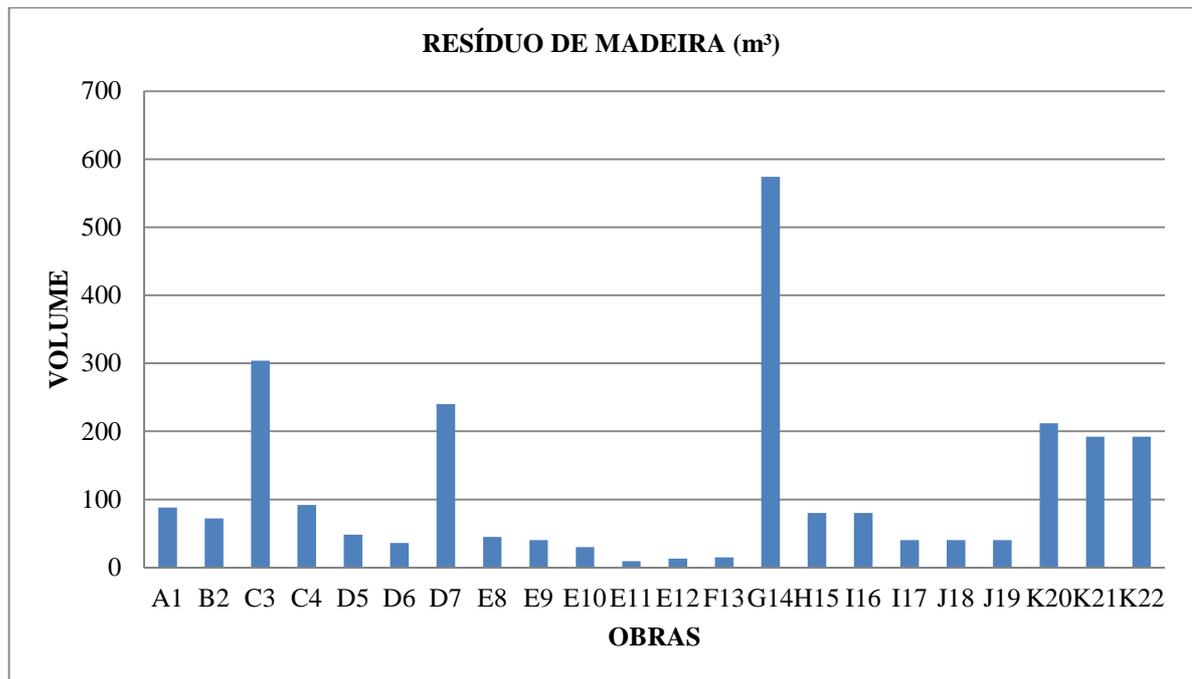
#### 4.2.1 Variável dependente: volume de resíduos de madeira

A Tabela 9 apresenta o volume de resíduos de madeira coletados nas obras estudadas.

**Tabela 9 - Volume de resíduos de madeira**

Obra	Resíduos de madeira (m <sup>3</sup> )	Obra	Resíduos de madeira (m <sup>3</sup> )
A1	88	E12	13
B2	72	F13	15
C3	304	G14	574
C4	92	H15	80
D5	48	I16	80
D6	36	I17	40
D7	240	J18	40
E8	45	J19	40
E9	40	K20	212
E10	30	K21	192
E11	9	K22	192

A Figura 14 apresenta um gráfico de barras com os volumes de resíduos de madeira das obras.



**Figura 14 – Volume de resíduos de madeira**

Os volumes coletados geraram uma média de 112,8m<sup>3</sup> e um desvio padrão de 131,9m<sup>3</sup>, que reflete a grande variação no volume de resíduos de madeira entre as obras. Pode-se observar que o volume de madeira informado pelas obras C3, D7, G14, K20, K21 e K22 se destacam em relação às demais, sobretudo a obra G14, que possui um volume muito superior entre todas as obras.

#### 4.2.2 Variáveis independentes - características de projeto

A Tabela 10 e a Tabela 11 apresentam as variáveis de características dos projetos das obras estudadas.

**Tabela 10 – Características de projeto das obras**

<b>Obra</b>	<b>Nº pav</b>	<b>Subsolo</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Área pav tipo (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Área total (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Tipo/ Total</b>
A1	13	2	36,20	260,00	4.462,82	0,06
B2	9	0	24,80	269,63	2.679,47	0,10
C3	12	1	29,15	308,17	3.738,08	0,08
C4	10	0	28,85	363,63	4.011,16	0,09
D5	10	1	30,80	571,41	6.931,66	0,08
D6	9	1	23,40	493,55	5.055,15	0,10
D7	14	5	27,70	1.038,54	15.520,52	0,07
E8	13	0	40,80	571,88	16.641,00	0,03
E9	11	0	32,40	1.471,81	18.667,80	0,08
E10	11	1	29,70	569,56	13.995,00	0,04
E11	11	0	29,70	523,25	5.485,00	0,10
E12	15	0	44,50	581,75	10.209,00	0,06
F13	5	0	14,50	304,27	1.571,35	0,19
G14	7	1	21,00	171,13	1.366,84	0,13
H15	7	1	19,65	329,55	2.648,67	0,12
I16	11	1	29,50	128,15	1.586,46	0,08
I17	6	0	17,13	143,79	978,51	0,15
J18	6	1	14,15	185,28	1.114,56	0,17
J19	4	0	11,50	337,01	1.397,75	0,24
K20	15	2	35,93	204,30	3.929,46	0,05
K21	12	1	33,40	273,76	4.144,95	0,07
K22	12	1	33,25	271,89	4.463,70	0,06

Tabela 11 – Características de projeto das obras

Obra	N tipo/ N total	Área formas (m <sup>2</sup> )	Volume concreto (m <sup>3</sup> )	Área Total/ Volume concreto (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	Área formas/ Volume concreto (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )
A1	0,77	8.394,10	878,50	5,08	9,56
B2	0,78	6.503,20	637,60	4,20	10,20
C3	0,75	-	753,77	4,96	-
C4	0,80	-	777,80	5,16	-
D5	0,70	13.770,00	1.349,40	5,14	10,20
D6	0,56	-	994,05	5,09	-
D7	0,36	31.445,00	3.014,10	5,15	10,43
E8	0,77	30.578,80	3.206,25	5,19	9,54
E9	0,55	33.348,67	3.654,42	5,11	9,13
E10	0,82	19.923,44	2.660,63	5,26	7,49
E11	0,82	12.381,00	1.044,47	5,25	11,85
E12	0,93	18.947,00	1.885,76	5,41	10,05
F13	0,80	2.111,34	265,06	5,93	7,97
G14	0,70	-	325,30	4,20	-
H15	0,71	4.549,64	465,52	5,69	9,77
I16	0,36	2.945,50	338,90	4,68	8,69
I17	0,67	1.615,70	207,55	4,71	7,78
J18	0,50	2.223,00	225,90	4,93	9,84
J19	0,75	2.781,00	255,10	5,48	10,90
K20	0,73	-	772,69	5,09	-
K21	0,83	-	815,07	5,09	-
K22	0,67	-	877,75	5,09	-

Importante salientar que apenas 4 obras eram constituídas de 2 torres, e como as características de projeto e de execução eram as mesmas, optou-se por desconsiderar essa variável, quantificando os dados como um todo.

Apesar dos dados apresentarem variabilidade nos valores absolutos, tais como o número de pavimentos, área total construída e volume de concreto, observa-se uma homogeneidade na variável que estabelece a relação área total e volume de concreto. As obras B2 e G14 apresentaram a menor relação, que foi de 4,20. O projetista responsável pelo projeto estrutural da obra B2, quando questionado, relatou que essa variação decorre de definições de cálculo estrutural. Na obra em questão, o cálculo estrutural foi bastante conservador quando calculada a ação dos ventos na edificação, gerando um volume de concreto maior. Outro fator que contribuiu para essa relação foi a preocupação do projetista em manter a mesma seção de pilar a partir do 2º pavimento, para oferecer um maior reaproveitamento da madeira a ser utilizada nas formas de concreto.

As obras C3, C4, D6, G14, K20, K21 e K22 não possuíam a informação de área de formas de concreto armado no projeto estrutural, e devido à indisponibilidade por parte dos

projetistas, não foi possível coletar esse dado, bem como estabelecer sua relação com o volume de concreto das obras referidas.

#### 4.2.3 Variáveis independentes - características de execução

Para caracterizar os tipos de gestão das obras que possam causar impacto no volume de resíduo de madeira, cinco variáveis foram utilizadas. São elas: sistema produtivo, qualidade das formas, índice de reuso de formas, sistema de gestão, existência ou não de depósito e/ou outras obras, tapume, áreas de vivência, índice de uso da madeira e escoras. A Tabela 12 e a Tabela 13 apresentam os dados coletados.

**Tabela 12 – Características de execução das obras**

Obra	Sistema produtivo (1 a 3)	Qualidade das formas (1 a 3)	Índice de reuso formas	Sistema de gestão (1 a 5)	Depósito e/ou outras obras (0 ou 1)
A1	2	2	5,20	3	0
B2	3	3	6,43	3	0
C3	2	2	4,80	2	1
C4	2	2	5,00	3	1
D5	2	3	5,00	3	1
D6	2	3	4,50	3	1
D7	2	3	7,00	3	1
E8	3	3	10,83	5	1
E9	3	3	9,17	5	1
E10	3	3	8,46	4	1
E11	3	3	7,86	4	1
E12	3	3	10,71	4	1
F13	2	2	3,33	1	0
G14	1	1	2,33	1	0
H15	2	2	2,75	2	1
I16	1	2	4,40	1	1
I17	1	2	2,40	1	1
J18	1	2	3,00	4	0
J19	1	2	4,00	4	0
K20	2	2	6,00	2	1
K21	2	2	4,80	2	1
K22	2	2	4,80	2	1

As variáveis que iriam caracterizar a gestão das obras foram previamente definidas. No entanto, no decorrer da coleta de dados, observou-se a necessidade de acrescentar outras variáveis que caracterizassem melhor as obras. Foram elas, o sistema de gestão e o item que identifica se a empresa possui local de destinação da madeira reaproveitável (depósitos e/ou outras obras).

Para a primeira variável, entendeu-se que um sistema de gestão claramente definido e implementado nas obras poderia possibilitar uma redução de resíduos e uma maior

possibilidade de reaproveitamento da madeira, seja ela nas formas de concreto bem como nos demais usos temporários. Para a segunda, observou-se que as empresas que não possuíam local para destinar ou depositar madeira com possibilidade de reaproveitamento, não se preocupavam em usar o material de maneira racional, pois a madeira teria que ser descartada na forma de resíduo, ao final da obra.

**Tabela 13 – Características de execução das obras**

<b>Obra</b>	<b>Tapume (m)</b>	<b>Áreas de vivência (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Índice de uso da madeira (0 a 10)</b>	<b>Escoras (0 ou 1)</b>
A1	0	80,00	7,50	0
B2	0	0	5,00	0
C3	24,90	96,60	10,00	1
C4	28,66	79,40	10,00	1
D5	0	150,00	1,67	0
D6	0	165,00	1,67	0
D7	0	165,00	1,67	0
E8	0	208,50	1,67	0
E9	0	298,00	6,25	0
E10	0	192,00	1,67	0
E11	0	89,00	6,25	0
E12	0	149,00	6,25	0
F13	0	6,00	6,25	0
G14	0	19,20	7,50	1
H15	104,00	10,31	10,00	1
I16	0	33,00	7,50	1
I17	0	33,00	7,50	1
J18	13,10	37,84	10,00	1
J19	15,20	37,84	10,00	1
K20	0	47,00	6,00	1
K21	0	47,00	6,00	1
K22	0	47,00	6,00	1

Os dados indicaram que as empresas optam, em sua maioria, por utilizar outros materiais na confecção dos tapumes, tais como o concreto, zinco e material plástico reciclado. Consultadas, as empresas alegam que a quantidade de material necessário é grande, o tempo de uso é longo, e que, para utilizar madeira, a mesma precisa ser de boa qualidade, o que aumenta os custos. Também se observou grande variabilidade nas áreas construídas em madeira para as áreas de vivência dos canteiros. Verificou-se nas obras que muitas utilizam contêineres metálicos como solução mista, associado à madeira.

Referente ao uso de escoras em madeira, por se tratar de uma variável *Dummy*, definiu-se que, independente da quantidade de madeira utilizada, a obra receberia a classificação “sim” para o uso de escoras, mesmo se utilizassem uma solução mista: escoras

metálicas e em madeira. Questionadas, as empresas alegaram ter uma estimativa do percentual de escoras em madeira, mas não possuíam um valor exato.

### 4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS E DESENVOLVIMENTO DO MODELO EMPÍRICO

#### 4.3.1 Análise descritiva

A Tabela 14 apresenta a análise descritiva dos dados coletados, contendo os valores mínimos e máximos, médias, desvio padrão e coeficiente de variação.

Tabela 14 – Análise descritiva

Variáveis	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	Coef. de variação (%)
Nº pavimentos	22	4	15	10,14	3,182	31,38
Subsolo	22	0	5	0,86	1,125	130,81
Altura	22	11,50	44,50	27,6368	8,65201	31,31
Área pav. tipo	22	128,15	1471,81	426,0141	313,15584	73,51
Área total	22	978,51	18667,80	5936,3141	5444,61025	91,72
Tipo/ Total	22	0,03	0,24	0,0977	0,05145	52,66
N tipo/ N total	22	0,36	0,93	0,6973	0,14733	21,13
Sistema produtivo	22	1,00	3,00	2,0455	0,72225	35,31
Sistema de gestão	22	1,00	5,00	2,8182	1,25874	44,66
Tapume	22	0,00	104,00	8,4482	22,98019	272,01
Áreas de vivência	22	0,00	298,00	90,4859	78,76984	87,05
Índice uso da madeira	22	1,67	10,00	6,1977	2,95308	47,65
Área de formas	15	1615,70	33348,67	12767,8260	11499,78291	90,07
Volume concreto	22	207,55	3654,42	1154,7995	1045,76995	90,56
Área total/ Vol.concreto	22	4,20	5,93	5,0859	0,39851	7,83
Área formas/ Vol. concreto	15	7,49	11,85	9,5600	1,19230	12,47
Qualidade das formas	22	1	3	2,36	0,581	24,62
Índice de reuso formas	22	2,33	10,83	5,5805	2,50025	44,80
Depósito e/ou outras obras	22	0	1	0,73	0,456	62,46
Escoras	22	0	1	0,50	0,512	102,40
Resíduos de madeira	22	9	574	112,82	131,971	

Há grande variabilidade entre os dados coletados, o que se evidencia pelos resultados acima apresentados e indica que os dados não são homogêneos. No entanto, 2 variáveis se destacam pela baixa variabilidade: Área total/ Vol. Concreto e Área formas/ Vol. Concreto. As relações entre as áreas construídas e as áreas de formas em relação ao volume de concreto armado executado nas obras podem indicar que, embora haja grandes diferenças nas características das obras e das empresas estudadas, essas relações sejam homogêneas, e devem ser observadas nos resultados no modelo empírico a ser estabelecido.

### 4.3.2 Testes de Normalidade da variável Y (volume de resíduos)

#### 4.3.2.1 Teste 1 para 22 obras

Segundo Moore e McCabe (2002), para representar uma população, uma amostra precisa ter sua distribuição normal, representada por uma curva simétrica, ou curva normal. Curvas simétricas podem ser consideradas boas descrições de dados reais e/ou aleatórios e funcionam satisfatoriamente para outras distribuições normais, ou seja, para outras amostras de tamanho  $n$ . Primeiramente foram utilizados os testes de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk, sendo que o último teve seus valores analisados de acordo com seu nível de significância (p-valor), uma vez que é o teste considerado o mais indicado para amostras inferiores a 30. A Tabela 15 apresenta os resultados dos testes.

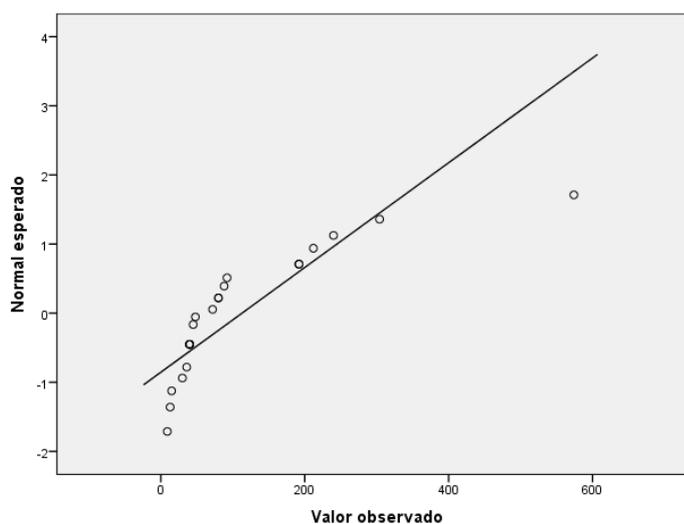
**Tabela 15 – Testes de normalidade para 22 obras**

Variável Y	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estatística	gl	p-valor	Estatística	gl	p-valor
Volume de resíduos de madeira	290	22	0,000	0,716	22	0,000

a. Correlação de Significância de Lilliefors

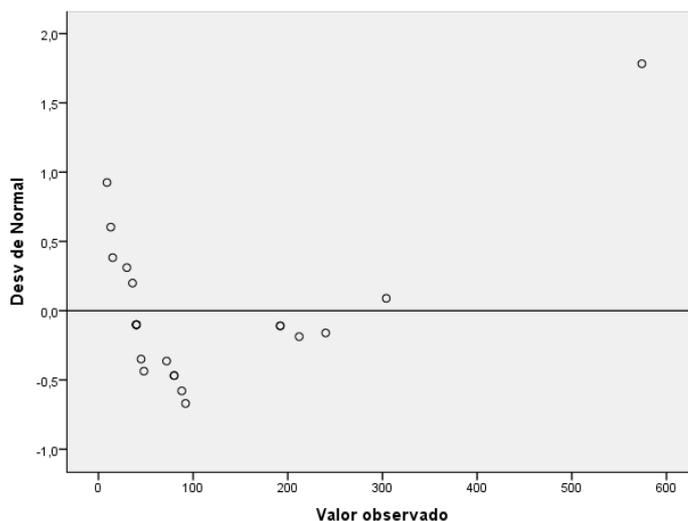
Ao nível de significância de 0,05 (p-valor), verifica-se que, para a amostra contendo 22 obras, se rejeita a hipótese de normalidade, ou seja, a amostra não possui distribuição normal dos dados.

A Figura 15 apresenta o Gráfico Q-Q Plot de Normalidade para a amostra, onde se pode observar, visualmente, que os dados não são normais em relação à reta ascendente.



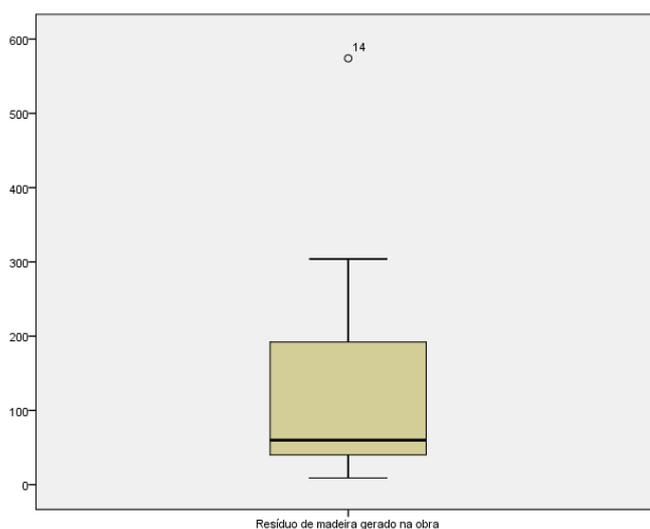
**Figura 15 – Q-Q Plot de normalidade para 22 obras**

A Figura 16 apresenta o Gráfico de dispersão da amostra, onde a distância da reta horizontal indica a dispersão dos dados em relação à normalidade.



**Figura 16 – Dispersão para 22 obras**

Finalizando o 1º teste de verificação da normalidade da variável Y, foi observado o diagrama de caixa, ou *boxplot* (Figura 17), que indicou a presença de um *outlier*. Segundo Hair et al. (2014), *outliers* são observações facilmente identificáveis, podendo ser classificadas a partir de erros de processo, eventos ou observações extraordinárias, e que são únicos em sua combinação.



**Figura 17 – Diagrama de caixa para 22 obras**

O *outlier* identificado recomenda a exclusão do dado através de um critério quantitativo. No entanto, torna-se necessário realizar também, antes de qualquer exclusão ou reajuste de modelo, uma avaliação de critério qualitativo, para evitar a possível exclusão de algum dado relevante ao modelo. Considerando também que a amostra de número 14 representa o volume de resíduos de madeira da obra G14, verifica-se, através da Figura 14, que se trata de um valor excessivamente alto, frente aos demais. Na fase de coleta de dados, a obra G14 foi a que apresentou maior imprecisão, além de deficiências de controle e de gestão de obra. Diante

do exposto, definiu-se excluir, tanto por critério quantitativo quanto por critério qualitativo, a amostra de número 14, a fim de se obter a normalidade dos dados, através de nova rodada de testes.

#### 4.3.2.2 Teste 2 para 21 obras

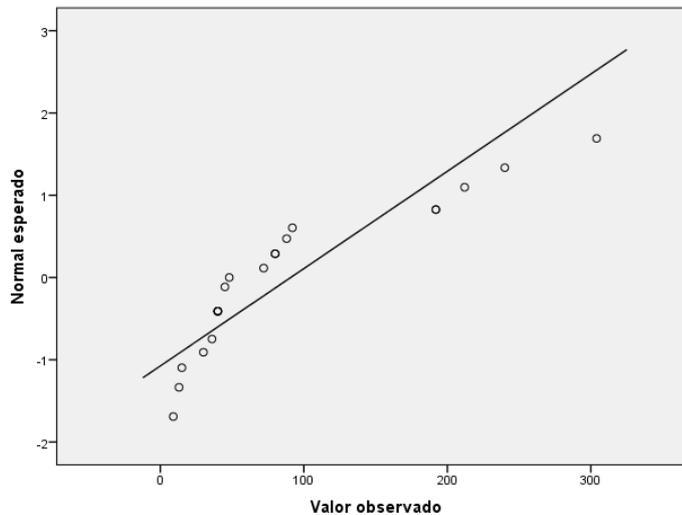
Tendo agora uma amostra contendo 21 obras, realizaram-se novos testes de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk. Os resultados são apresentados na Tabela 16.

**Tabela 16 – Testes de normalidade para 21 obras**

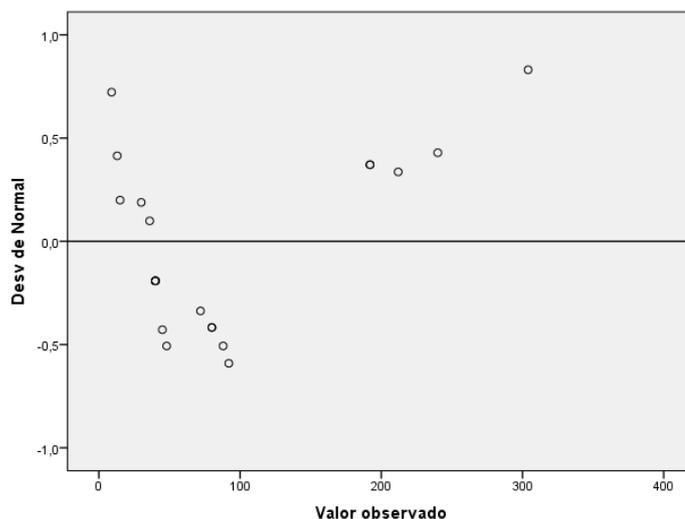
Variável Y	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estatística	gl	p-valor	Estatística	gl	p-valor
Volume de resíduos de madeira	0,257	21	0,001	0,809	21	0,001

a. Correlação de Significância de Lilliefors

Analisando Shapiro-Wilk, observa-se que foi rejeitada novamente a hipótese de normalidade, ao nível de significância estabelecido. A Figura 18 e a Figura 19 apresentam, respectivamente, os Gráficos Q-Q Plot de Normalidade e de Dispersão para o teste.

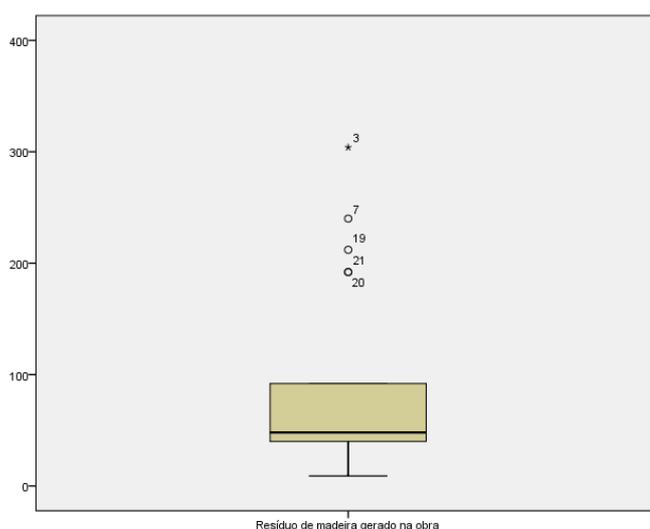


**Figura 18 – Q-Q Plot de normalidade para 21 obras**



**Figura 19 – Dispersão para 21 obras**

Embora a dispersão dos dados seja menor, em relação ao teste anterior, o *boxplot* identificou novos *outliers* que podem estar impedindo a normalidade de Y. A Figura 20 apresenta o Diagrama de caixa para do teste.



**Figura 20 – Diagrama de caixa para 21 obras**

Os *outliers* de números 3, 7, 19, 20 e 21 representam as obras C3, D4, K20, K21 e K22, como recomendação de exclusão pelo critério quantitativo. No entanto, pelo critério qualitativo, a obra C3 (participante do estudo piloto) apresentou grande confiabilidade no fornecimento dos dados, uma vez que possuía registros do volume de resíduos de madeira através dos boletos e, pelo critério qualitativo – experiência do pesquisador – definiu-se manter a obra C3 na amostra.

Considerando ainda o critério qualitativo, observou-se que as obras E11 e E12 apresentaram valores muito inferiores às demais. Questionado, e comparando principalmente com os valores das outras obras da mesma empresa, o responsável técnico declarou não confiar

nos dados fornecidos, sendo que os mesmos foram extraídos de planilhas de controle feito pelo setor ambiental da empresa. Diante dos fatos, as obras acima citadas também foram excluídas para realização de novos testes de normalidade.

#### 4.3.2.3 Teste 3 para 15 obras

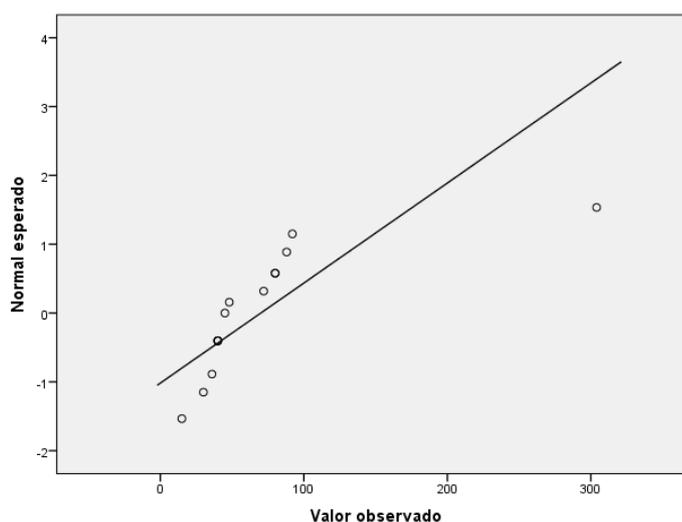
De posse de uma amostra contendo 15 obras, foi realizada nova rodada de testes, apresentada na Tabela 17.

**Tabela 17 – Testes de normalidade para 15 obras**

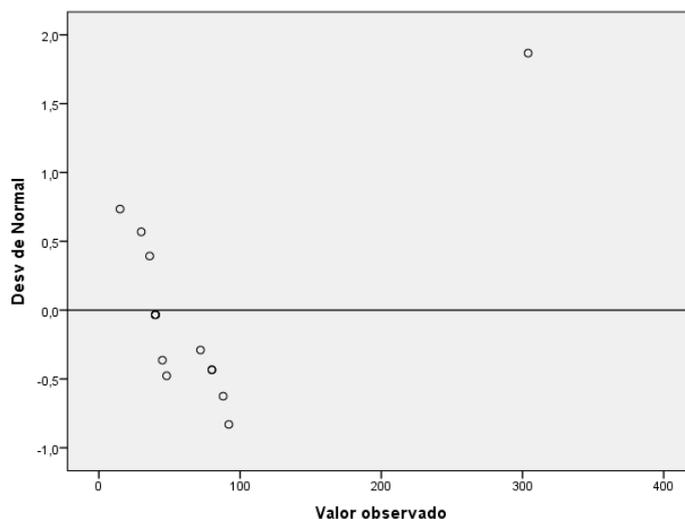
Variável Y	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estatística	gl	p-valor	Estatística	gl	p-valor
Volume de resíduos de madeira	0,308	15	0,000	0,594	15	0,000

a. Correlação de Significância de Lilliefors

Novamente a hipótese de normalidade dos dados foi rejeitada. A Figura 21 e a Figura 22 apresentam os Gráficos Q-Q Plot de normalidade e de dispersão, respectivamente.

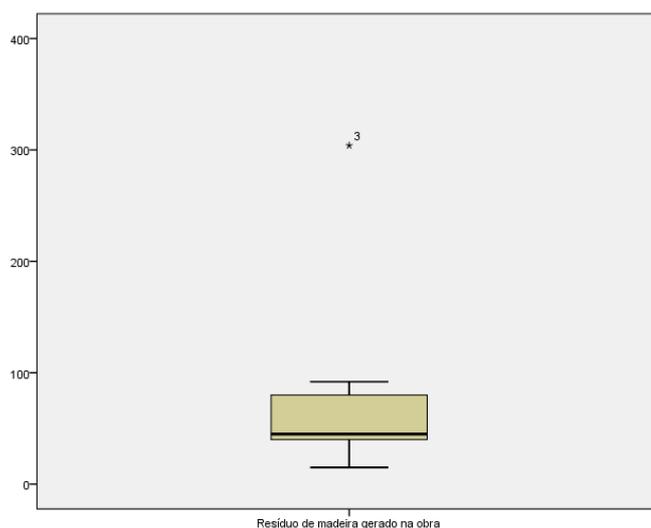


**Figura 21 – Q-Q Plot de normalidade para 15 obras**



**Figura 22 – Dispersão para 15 obras**

Embora confiando nos dados coletados da obra C3, o boxplot ainda identifica a necessidade de exclusão do dado pelo critério quantitativo. A Figura 23 apresenta o Diagrama.



**Figura 23 – Diagrama de caixa para 15 obras**

Analisando novamente a obra, numa abordagem qualitativa, observa-se que foi a única que continha andaime fachadeiro com piso em madeira, e conseqüentemente, grande volume de madeira e resíduo gerado. Essa característica peculiar às demais pode estar ocasionando a dispersão do dado em relação à curva normal, e estima-se que “pisos de andaime fachadeiro em madeira” deveria ter sido observada através de uma variável Dummy. No entanto, seria a única obra a ser atribuído o valor (1), e às demais, valor (0), o que não é representativo, frente a outras 21 obras.

Consultada, a empresa informou que não irá mais utilizar piso em madeira para o andaime fachadeiro das obras seguintes. Além do custo, o consumo e o desperdício de madeira

são altos, e também, gera irregularidades no piso, podendo ocasionar acidentes e problemas com o Ministério do Trabalho e Emprego, sendo essa uma prática em desuso no mercado.

Diante do exposto, e da presença de *outlier*, decidiu-se excluir a amostra C3 da amostra.

#### 4.3.2.4 Teste 4 para 14 obras

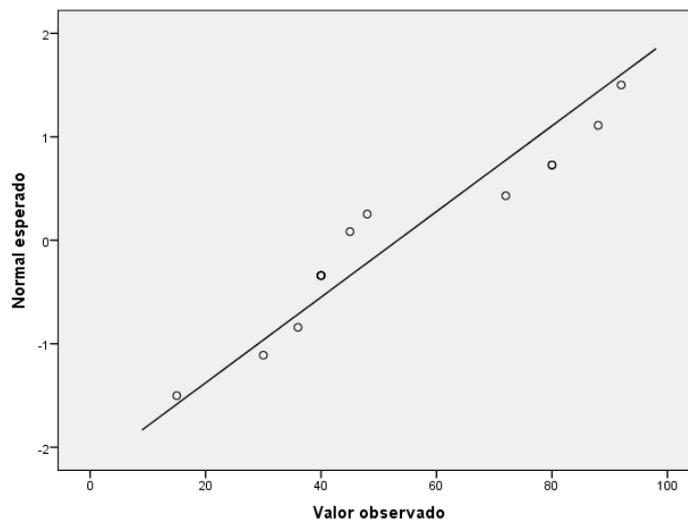
Com amostra contendo 14 obras, os testes de normalidade apresentaram os valores da Tabela 18.

**Tabela 18 – Testes de normalidade para 14 obras**

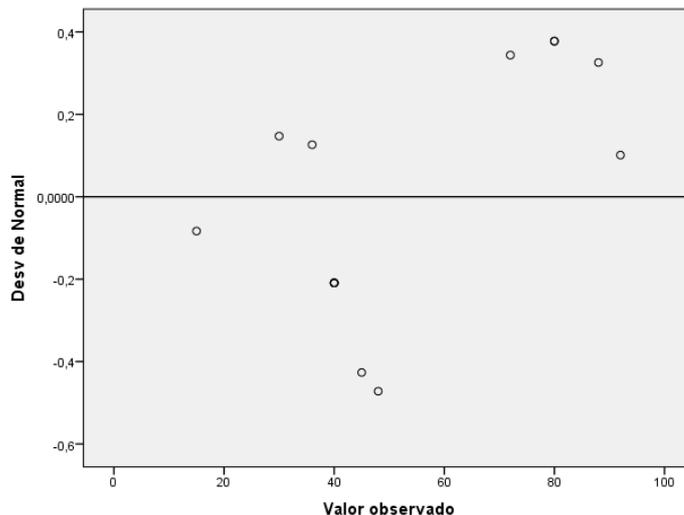
Variável Y	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estatística	gl	p-valor	Estatística	gl	p-valor
Volume de resíduos de madeira	0,229	14	0,044	0,894	14	0,092

a. Correlação de Significância de Lilliefors

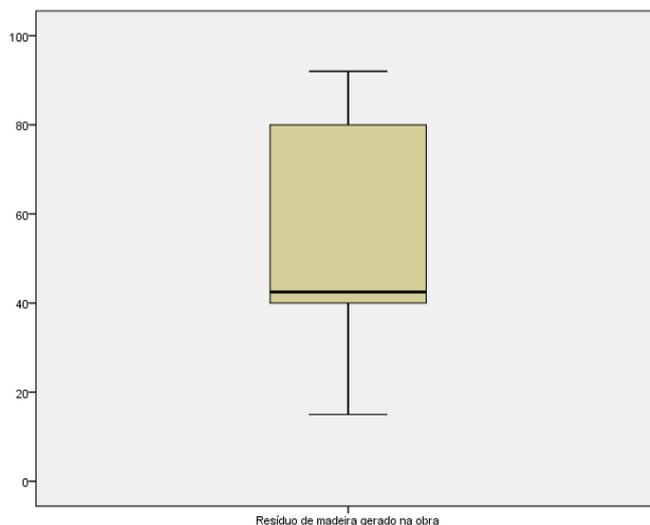
O resultado do teste de Shapiro-Wilk identifica a normalidade da amostra, e obtendo assim, a normalidade de Y. A Figura 24 e a Figura 25 apresentam os Gráficos Q-Q Plot de normalidade e de dispersão. Já a Figura 26, apresenta o Diagrama de caixa do teste.



**Figura 24 – Q-Q Plot de normalidade para 14 obras**



**Figura 25 – Dispersão para 14 obras**



**Figura 26 – Diagrama de caixa para 14 obras**

Com a ausência de *outliers* no *boxplot*, confirma-se a Normalidade de Y para 14 dados na amostra.

#### 4.3.3 Correlações entre a variável dependente e variáveis independentes

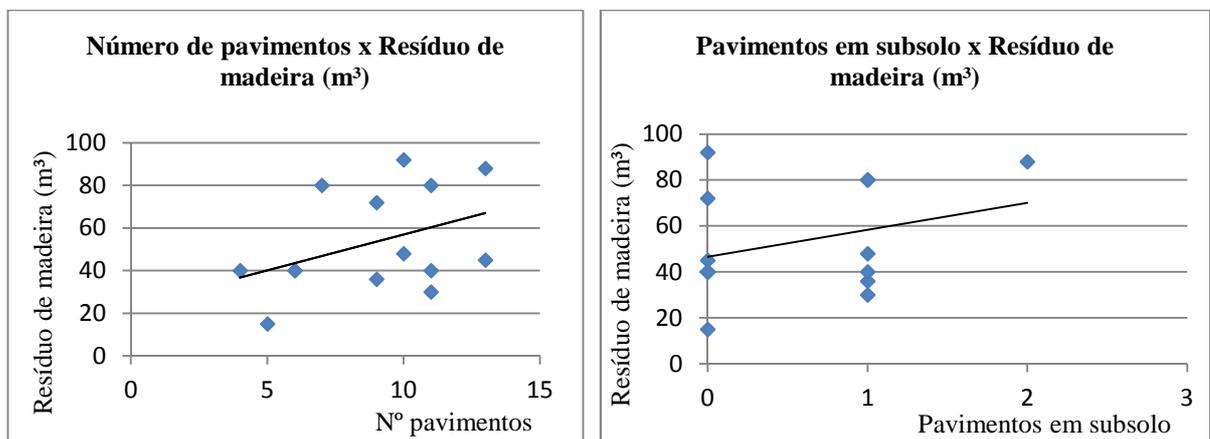
A seguir, foram analisadas as correlações existentes entre a variável dependente e cada uma das variáveis independentes. Segundo Moore e McCabe (2002), a correlação  $r$  mede a força da relação entre duas variáveis quantitativas. É um número contido no intervalo  $[-1; 1]$ , e valores próximos do unitário representam uma relação linear forte entre as variáveis, enquanto valores próximos de zero representam uma relação fraca. Já o nível de significância é o poder de um teste em avaliar se uma hipótese alternativa é verdadeira (MOORE E MCCABE, 2002). Conforme descrito anteriormente, o nível de significância definido, ou p-valor, foi de 95% (ou 0,05). Valores inferiores a 0,05 indicam a probabilidade da hipótese ser verdadeira.

A Tabela 19 apresenta o número de dados utilizados, os resultados da Correlação de Pearson e seus respectivos níveis de significância.

**Tabela 19 – Correlações de Pearson (r)**

	N	Correlação de Pearson (r)	p-valor
Resíduo de madeira gerado na obra	14	1	
Número de pavimentos	14	0,402	0,155
Subsolo	14	0,314	0,274
Altura	14	0,359	0,208
Área do pavimento tipo	14	-0,276	0,339
Área total	14	-0,246	0,396
Tipo/ Total	14	-0,340	0,235
N tipo/ N total	14	-0,033	0,912
Sistema produtivo	14	-0,053	0,858
Sistema de gestão	14	-0,164	0,575
Tapume	14	0,399	0,157
Áreas de vivência	14	-0,293	0,310
Índice de uso da madeira	14	0,408	0,147
Área formas	12	-0,196	0,542
Volume concreto	14	-0,236	0,417
Área total/ Vol. concreto	14	-0,332	0,246
Área formas/ Vol. concreto	12	0,378	0,226
Qualidade das formas	14	-0,302	0,294
Índice de reuso de formas	14	-0,100	0,735
Depósito e/ou outras obras	14	0,073	0,804
Escoras	14	0,324	0,258

Foram selecionadas as 10 variáveis independentes (X) mais significativas, a fim de atender ao requisito do cálculo realizado através do *G\*Power*® para definição do número mínimo de variáveis para se obter a capacidade de explicação do fenômeno. A seguir, são avaliadas as correlações bivariadas, isoladamente, entre as variáveis mais significativas e a variável dependente. A Figura 27 apresenta as correlações das variáveis “número de pavimentos” e “número de pavimentos em subsolo”.



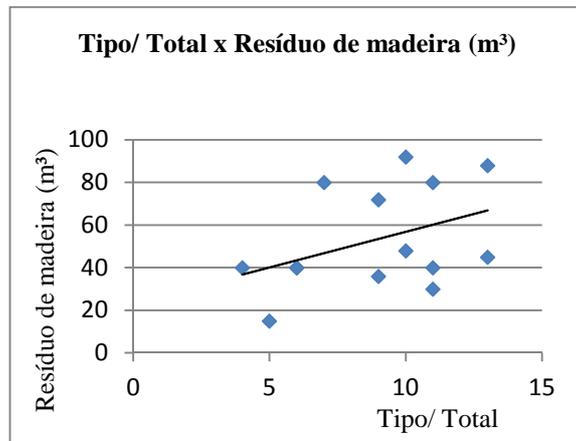
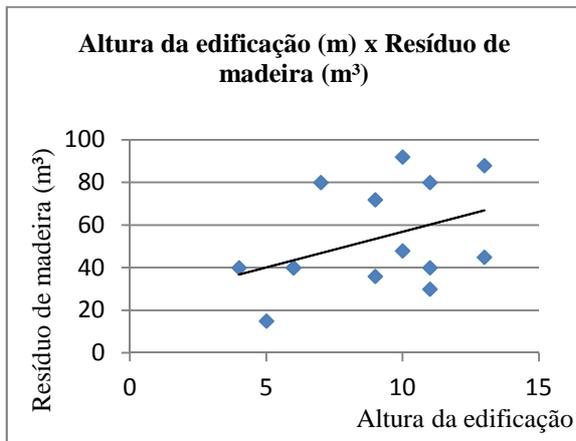
(a)

(b)

**Figura 27 – Dispersão bivariada: (a) N° de pavimentos X Resíduo de madeira (m³) e (b) N° pavimentos em subsolo X Resíduo de madeira (m³)**

Os gráficos indicam uma correlação crescente, indicando que o aumento do número de pavimentos, sejam eles acima do solo ou em subsolo, pode estar ocasionando o aumento do volume de resíduos de madeira gerado nas obras.

A Figura 28 apresentam as correlações das variáveis “altura da edificação” e “área do pavimento tipo/ área total”.



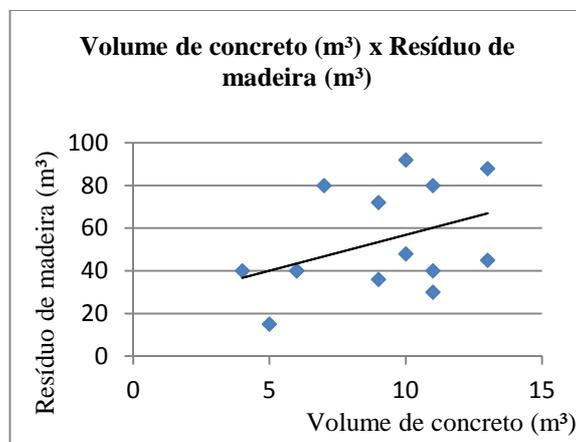
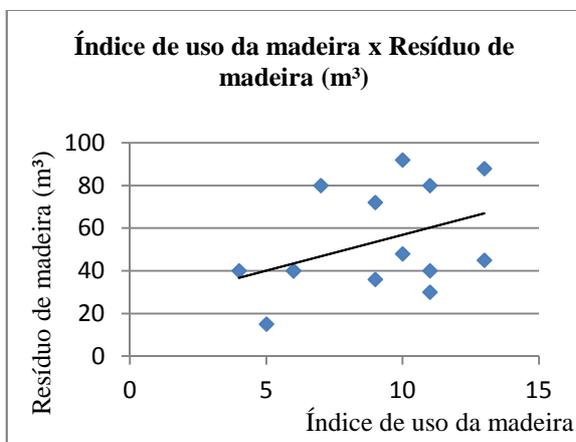
(a)

(b)

**Figura 28 - Dispersão bivariada: (a) Altura da edificação (m) X Resíduo de madeira (m³) e (b) Tipo/ Total X Resíduo de madeira (m³)**

O gráfico de dispersão referente à altura da edificação indica uma correlação positiva, ou seja, quanto maior é sua altura, maior é o volume de resíduo gerado.

A Figura 29 apresenta as correlações das variáveis “taxa de uso da madeira” e “volume de concreto”.



(a)

(b)

**Figura 29 – Dispersão bivariada: (a) Índice de uso da madeira X Resíduo de madeira (m³) e (b) Volume de concreto (m³) X Resíduo de madeira (m³)**

O gráfico de dispersão do índice de uso da madeira, também positiva, indica que as obras que utilizaram mais madeira na confecção das proteções coletivas e das instalações provisórias, conseqüentemente, também geraram maior volume de resíduos de madeira.

A variável “Volume de concreto”, isoladamente, não apresentou grande valor de significância. No entanto, está associada a 2 variáveis selecionadas: “Área total/ Volume de Concreto” e “Área de formas/ Volume de concreto”. Como essas variáveis já foram indicadas anteriormente como sendo mais homogêneas, ou seja, todas as obras possuem valores muito próximos, optou-se por destacar a variável “Volume de concreto”.

Além das 10 variáveis independentes mais significativas, o teste realizado através do software *G\*Power*® indicou que a amostra deveria ter o mínimo de 14 obras para o mesmo  $R^2$  ajustado de Dias (2013), o mesmo resultado encontrado nos testes de normalidade de Y.

#### 4.3.4 Análise de regressão

##### 4.3.4.1 Modelo 1

Atendidas as exigências de Normalidade e de Correlação, prosseguiu-se com a análise estatística realizando os testes de análise de regressão múltipla. Os testes foram feitos através do procedimento de regressão “backward”, o qual elimina as variáveis menos significativas, uma a uma. Todos os modelos consideraram o total de 14 obras na amostra, conforme definido anteriormente.

A Tabela 20 a Tabela 21 apresentam o resumo dos resultados do Modelo 1, bem como as variáveis independentes utilizadas e seus coeficientes.

**Tabela 20 – Resumo dos resultados da análise de regressão do Modelo 1**

Modelo	$R^2$	$R^2$ ajust.	Erro padrão	F	p-valor
1	0,995	0,946	5,295	20,426	0,171

**Tabela 21 – Coeficientes do Modelo 1**

Variáveis	Coef. ( $\beta$ )	Erro Padrão	p-valor
Constante	135,203	55,089	0,246
Nº pavimentos	31,355	9,406	0,186
Subsolo	13,686	7,612	0,323
Altura	1,016	2,152	0,719
Tipo/ Total	1935,072	570,367	0,182
Tapume	1,720	0,357	0,130
Índice uso madeira	-9,915	2,915	0,182
Área total/ Vol. concreto	-76,000	14,233	0,118
Área formas/ Vol. concreto	-15,514	7,386	0,283
Qualidade das formas	-12,349	13,371	0,525
Escoras	-11,800	6,175	0,307

Segundo Moore e McCabe (2002), o teste F da ANOVA, utilizado nos modelos de regressão, testa as hipóteses:

$$H_0: \beta_1 = 0$$

$$H_1: \beta_1 \neq 0$$

O objetivo da hipótese nula ( $H_0$ ) é ser rejeitada a um nível de significância pré-estabelecido. Logo,  $H_1$  se refere à hipótese que se pretende validar na pesquisa. Já no teste F, quanto menor for o valor, maior é a evidência de que a hipótese alternativa ( $H_1$ ) seja válida. Analisando os valores apresentados, observa-se que o Modelo 1, embora esteja explicando 94,6% do fenômeno, não atende ao nível de significância de 0,05.

#### 4.3.4.2 Modelo 2

A Tabela 22 e a Tabela 23 apresentam o resumo dos resultados do Modelo 2, bem como as variáveis independentes utilizadas e seus coeficientes.

**Tabela 22 – Resumo dos resultados da análise de regressão do Modelo 2**

Modelo	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajust.	Erro padrão	F	p-valor
2	0,994	0,967	4,141	0,223	0,027

**Tabela 23 – Coeficientes do Modelo 2**

Variáveis	Coef. ( $\beta$ )	Erro Padrão	p-valor
Constante	131,347	42,606	0,091
Nº pavimentos	33,302	6,612	0,037
Subsolo	10,919	3,801	0,103
Tipo/ Total	1850,071	423,263	0,049
Tapume	1,678	0,271	0,025
Índice uso madeira	-10,060	2,267	0,047
Área total/ Vol. concreto	-72,832	9,817	0,018
Área formas/ Vol. concreto	-13,662	4,894	0,108
Qualidade das formas	-15,948	8,593	0,205
Escoras	-11,870	4,828	0,133

No Modelo 2, a variável “altura” foi eliminada por apresentar baixo nível de significância. Embora o  $R^2$  ajustado calculado seja de 96,7% e p-valor já esteja abaixo de 0,05, algumas variáveis ainda apresentam nível de significância acima do estabelecido.

#### 4.3.4.3 Modelo 3

A Tabela 24 e a Tabela 25 apresentam o resumo dos resultados do Modelo 3.

**Tabela 24 – Resumo dos resultados da análise de regressão do Modelo 3**

Modelo	$R^2$	$R^2$ ajust.	Erro padrão	F	p-valor
3	0,984	0,941	5,578	3,444	0,013

**Tabela 25 – Coeficientes do Modelo 3**

Variáveis	Coef. ( $\beta$ )	Erro Padrão	p-valor
Constante	70,560	36,704	0,150
Nº pavimentos	40,493	7,217	0,011
Subsolo	15,990	3,559	0,021
Tipo/ Total	2326,126	453,534	0,014
Tapume	1,928	0,316	0,009
Índice uso madeira	-11,264	2,926	0,031
Área total/ Vol. concreto	-80,123	12,119	0,007
Área formas/ Vol. concreto	-19,805	4,856	0,027
Escoras	-8,155	5,918	0,262

Nesse Modelo, além da variável “altura”, a variável “qualidade das formas” também foi eliminada por apresentar baixo nível de significância. O  $R^2$  ajustado calculado foi de 94,1% e p-valor também está abaixo de 0,05. No entanto, algumas variáveis ainda apresentam baixo nível de significância.

## 4.3.4.4 Modelo 4

A Tabela 26 e a Tabela 27 apresentam o resumo dos resultados do Modelo 4.

**Tabela 26 – Resumo dos resultados da análise de regressão do Modelo 4**

Modelo	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajust.	Erro padrão	F	p-valor
4	0,974	0,927	6,173	1,899	0,005

**Tabela 27 – Coeficientes do Modelo 4**

Variáveis	Coef. ( $\beta$ )	Erro Padrão	p-valor
Constante	49,189	36,816	0,252
Nº pavimentos	39,628	7,957	0,008
Subsolo	15,282	3,898	0,017
Tipo/ Total	2243,779	497,544	0,011
Tapume	1,834	0,342	0,006
Índice uso madeira	-11,404	3,236	0,024
Área total/ Vol. concreto	-75,303	12,841	0,004
Área formas/ Vol. concreto	-18,457	5,264	0,025

O Modelo 4 excluiu também a variável “escoras” ao nível de significância. O R<sup>2</sup> ajustado calculado foi de 92,7% e p-valor de 0,005. Todas as variáveis possuem um nível de significância dentro no estabelecido, podendo-se supor ser esse modelo ideal para a análise de regressão.

No entanto, cabe ressaltar novamente, que uma análise estatística estuda o fenômeno segundo critérios quantitativos, devendo sempre se valer de critérios qualitativos para a tomada de decisão. Analisando as variáveis definidas no Modelo 4, observa-se a repetição do dado “área total”, e que o dado “área de formas” está contido no mesmo. Além de uma repetição desnecessária, o dado referente à área de formas foi um dos mais difíceis de ser coletado.

Das 22 obras estudadas, somente 15 forneceram o dado e, mesmo após a exclusão de 8 obras para se atingir a normalidade da variável Y, o modelo contém somente 12 obras com o dado fornecido, de um total de 14. Portanto, utilizar essa variável impossibilita a verificação do modelo, ao final, para todas as obras estudadas.

Visando obter um modelo de cálculo estimado que seja de fácil coleta e resolução, optou-se por realizar novas análises de regressão, inserindo agora o critério qualitativo, ou seja, buscando estabelecer um modelo que atinja uma capacidade de explicação, um nível de significância e um grau de facilidade na coleta condizente com a realidade.

Para isso, foram excluídas as variáveis “Área total/ Vol. Concreto” e “Área de formas/ Vol. Concreto”, e acrescentada ao novo teste a variável “Volume de concreto”.

#### 4.3.4.5 Modelo 5

Valendo-se novamente do procedimento de regressão “backward”, foram gerados 2 novos modelos com as variáveis acima descritas. A Tabela 28 e a Tabela 29 apresentam os resultados obtidos para o Modelo 5.

**Tabela 28 – Resumo dos resultados da análise de regressão do Modelo 5**

Modelo	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajust.	Erro padrão	F	p-valor
5	0,936	0,881	8,330	17,068	0,001

**Tabela 29 – Coeficientes do Modelo 5**

Variáveis	Coef. ( $\beta$ )	Erro Padrão	p-valor
Constante	-59,535	47,508	0,250
Nº pavimentos	12,325	3,753	0,013
Subsolo	-10,158	4,673	0,066
Tipo/ Total	79,745	184,838	0,679
Tapume	0,374	0,132	0,025
Índice uso madeira	2,331	1,318	0,120
Volume concreto	-0,017	0,003	0,002

O novo R<sup>2</sup> ajustado foi de 0,881 e p-valor foi de 0,001. No entanto, as variáveis “Subsolo”, “Tipo/ Total” e “Taxa de uso da madeira” não tiveram valores de significância aceitáveis.

#### 4.3.4.6 Modelo 6

O último modelo testado excluiu a variável “Tipo/ Total”, e seus valores e resultados são apresentados na Tabela 30 e na Tabela 31.

**Tabela 30 – Resumo dos resultados da análise de regressão do Modelo 6**

Modelo	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajust.	Erro padrão	F	p-valor
6	0,934	0,893	7,894	0,186	0,000155

Tabela 31 – Coeficientes do Modelo 6

Variáveis	Coef. ( $\beta$ )	Erro Padrão	p-valor
Constante	-39,678	11,162	0,007
Nº pavimentos	10,808	1,247	0,000
Subsolo	-9,807	4,361	0,055
Tapume	0,336	0,094	0,007
Índice uso madeira	2,715	0,921	0,018
Volume concreto	-0,016	0,003	0,001

O  $R^2$  ajustado indica que o modelo é capaz de explicar 89,3% do fenômeno. Os níveis de significância das variáveis foram aceitáveis, excetuando-se apenas a variável “Subsolo”, no entanto, muito próximo do nível de significância estabelecido. Além disso, tanto o teste F da ANOVA (0,186) quanto o p-valor do modelo (0,000155) foram os valores mais baixos de todos os modelos gerados no estudo, indicando maior fonte de evidência da validade do experimento e maior nível de significância, respectivamente.

Diante dos resultados apresentados, definiu-se que o modelo que melhor explica o volume de resíduo de madeira gerado em obras é o Modelo 6. A Figura 30 apresenta o modelo final com as variáveis independentes, seus respectivos coeficientes e níveis de significância.

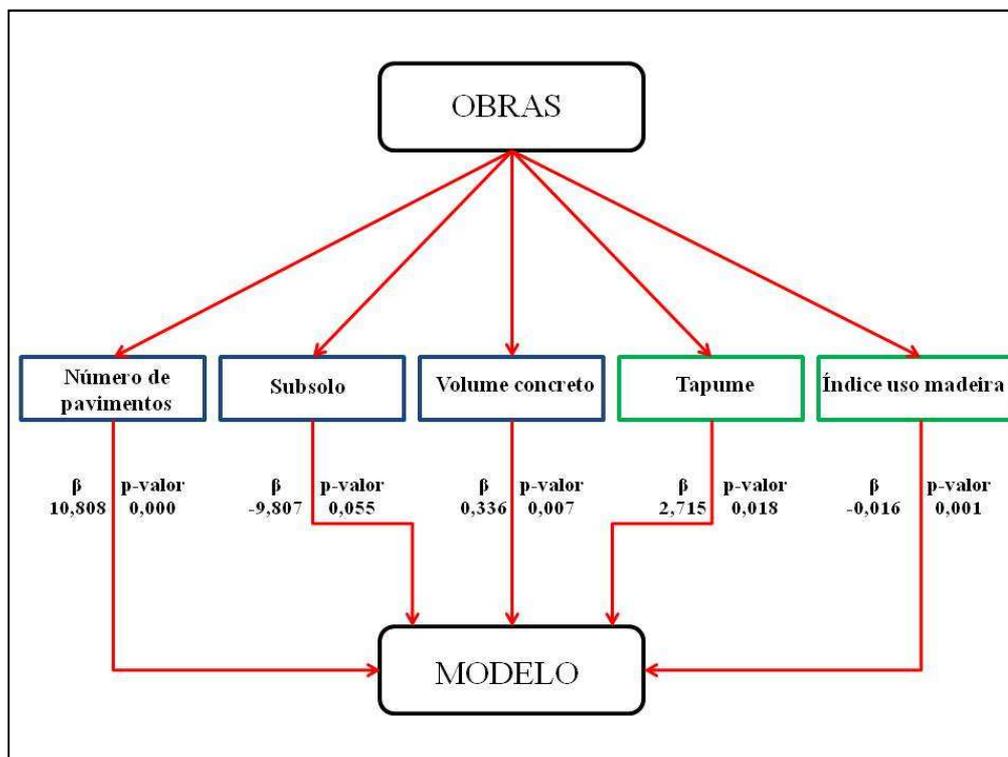


Figura 30 – Modelo final

### 4.3.5 Geração do modelo

Definido o modelo de regressão a ser adotado segundo critérios quantitativos e qualitativos, foi gerada a equação de regressão múltipla para estimar o volume de resíduos de madeira de uma obra. A Equação 4 representa o modelo adotado.

$$VRM = -39,678 + (10,808 \times n.pav) - (9,807 \times sub) - (0,016 \times concreto) + (0,336 \times tapume) + (2,715 \times \acute{i}.usomadeira) + \varepsilon \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

VRM = volume de resíduos de madeira;

n.pav = número de pavimentos;

sub = número de pavimentos em subsolo;

concreto = volume de concreto executado;

tapume = comprimento linear de tapume em madeira;

$\acute{i}.usomadeira$  = índice de uso da madeira na confecção dos equipamentos de proteção coletiva e instalações provisórias;

$\varepsilon$  = erro.

## 4.4 APLICAÇÃO DO MODELO ESTIMADO PARA AS OBRAS DE ESTUDO

Para a verificação do Modelo 6, a equação gerada foi aplicada para calcular o volume de resíduo de madeira das 22 obras estudadas, com o objetivo de comparar os valores calculados com os informados pelas empresas construtoras. A Tabela 32 apresenta as obras, as variáveis definidas no modelo, o volume de resíduos de madeira coletado e o estimado, bem como o coeficiente de variação entre elas.

Tabela 32 – Aplicação do modelo estimado

Obra	Nº pav	Subsolo	Volume concreto (m³)	Tapume (m)	Taxa de uso da madeira (0 a 10)	Volume resíduo madeira informado (construtoras)	Volume resíduo calculado Modelo 6	Variação (%)
A1	13	2	878,50	0	7,50	88	87,52	0,55
B2	9	0	637,60	0	5,00	72	60,97	15,32
C3*	12	1	753,77	24,90	10,00	304	103,67	65,90
C4	10	0	777,80	28,66	10,00	92	92,74	-0,80
D5	10	1	1.349,40	0	1,67	48	41,54	13,46
D6	9	1	994,05	0	1,67	36	36,42	-1,16
D7 *	14	5	3.014,10	0	1,67	240	18,91	92,12
E8	13	0	3.206,25	0	1,67	45	54,06	-20,13
E9	11	0	3.654,42	0	6,25	40	37,71	5,73
E10	11	1	2.660,63	0	1,67	30	31,37	-4,56
E11 *	11	0	1.044,47	0	6,25	9	79,47	-782,97
E12 *	15	0	1.885,76	0	6,25	13	109,24	-740,30
F13	5	0	265,06	0	6,25	15	27,09	-80,60
G14 *	7	1	325,30	0	7,50	574	41,33	92,80
H15	7	1	465,52	104,00	10,00	80	80,82	-1,02
I16	11	1	338,90	0	7,50	80	84,34	-5,43
I17	6	0	207,55	0	7,50	40	42,21	-5,53
J18	6	1	225,90	13,10	10,00	40	43,30	-8,25
J19	4	0	255,10	15,20	10,00	40	31,73	20,68
K20 *	15	2	772,69	0	6,00	212	106,75	49,64
K21 *	12	1	815,07	0	6,00	192	83,46	56,53
K22 *	12	1	877,75	0	6,00	192	82,46	57,05

\* obras excluídas da amostra

De acordo com os dados apresentados, pode-se verificar que as 8 obras excluídas da amostra (C3, D7, E11, E12, G14, K20, K21 e K22) apresentaram variação muito elevada em relação aos valores informados pelas empresas e calculados pela equação do Modelo 6, sendo o menor valor de 49,64% e o maior de 782,97%. Também, a obra F13, embora não tenha sido excluída do modelo final, apresentou grande variabilidade. Conforme descrito anteriormente, algumas delas já haviam sido questionadas quanto à fidelidade dos valores informados na fase de coleta de dados.

Os valores calculados pela equação do Modelo 6 foram apresentados aos entrevistados das empresas responsáveis pelas 8 obras acima citadas, e confrontados quanto à variação encontrada. Embora acreditem que os valores calculados possam ser mais próximos da realidade, os responsáveis ainda assim estimam que a geração de resíduos é maior. Perguntado o motivo, a maioria acredita que a falta de controle, gestão e de referências anteriores é o principal causador.

Dentre as demais obras, a maior variação identificada foi de 20,68%, sendo que a menor foi de 0,55%, indicando que o modelo final do estudo pode ser validado para o cálculo do volume de resíduos de madeira para obras verticais.



## 5 CONCLUSÃO

### 5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo apresentado teve por objetivo a proposta e validação de um modelo estimado para cálculo do volume de resíduos de madeira de obras verticais. A amostra conteve 22 obras, estudadas através de 20 variáveis, sendo elas divididas entre características de projeto e de execução. Diferentes modelos de regressão foram gerados, dados de amostras (obras e variáveis) foram excluídos a fim de, estatisticamente, resultar em um modelo de melhor explicação da geração de resíduos de madeira.

Ao final, o modelo proposto atingiu um coeficiente de determinação ( $R^2$  ajustado) de 0,893 ao nível de significância de 0,05 (5%), que indica que o modelo é capaz de explicar aproximadamente 89,3% do volume de resíduo de madeira gerado nas obras em estudo. Pode-se afirmar também, que o modelo pode ser aplicado para outras obras de mesma tipologia, e de diferentes amostras.

As etapas de estudo piloto e de coleta de dados foram fundamentais para definição das variáveis a serem estudadas, bem como a busca por uma amostra significativa que pudesse atingir as expectativas iniciais. Já a etapa de tratamento dos dados teve como papel fundamental as tomadas de decisões através de critérios quantitativos – técnica estatística utilizada – e critérios qualitativos – identificados pelo pesquisador.

Dentre as características identificadas no modelo final, três são referentes às características de projeto - *número de pavimentos, número de andares em subsolo e volume de concreto executado* - e duas referentes a características de execução – *comprimento linear dos tapumes e índice de uso da madeira*.

Os diferentes tempos de experiência das empresas na execução de obras verticais não influenciaram de forma significativa na geração de resíduos de madeira. Consoante, o nível de controle dos dados não pode ser definido como fundamental para definição do volume de resíduos que as obras geraram.

Espera-se que os resultados encontrados no estudo possam significar um aprimoramento na gestão e controle dos resíduos gerados em obras verticais. Especialmente em relação à madeira, um material nobre e que, no entanto, é muitas vezes negligenciado, uma vez que seu uso temporário acaba não sendo objeto de planejamento por parte dos responsáveis, contribuindo para o aumento do impacto ambiental pela qual a construção civil responde.

## 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como forma de incentivo ou continuidade, e ao aprimoramento da pesquisa apresentada, sugere-se:

- realizar novo estudo, definido como uma etapa de confirmação da pesquisa, devendo ampliar o tamanho da amostra e validar o modelo proposto, bem como melhorar o nível de precisão da variável dependente, através de proposta prévia da pesquisa com as empresas, ao início da obra;

- testar, para uma mesma amostra, os diferentes modelos apresentados, incluindo a variável “área de formas” para todas as obras estudadas;

- realizar estudos similares a esse para diferentes tipos de resíduos gerados em obras, e para obras de outras tipologias.

## REFERÊNCIAS

- ABRELPE. Associação das Empresas de Limpeza Pública. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil** – Relatório Anual 2015.
- ADEODATO, S. et al. **Madeira de ponta a ponta: o caminho desde a floresta até o consumo**. 1.ed. São Paulo: FGV RAE, 2011.
- AEPS. **Anuário Estatístico da Previdência Social/Ministério da Previdência Social**, Empresa de Tecnologia e Informações da Previdência Social, 2013.
- ANDERSON, D. R.; SWEENEY, Dennis J.; WILLIAMS, Thomas A. **Estatística aplicada à administração e economia**. 3.ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7203**: Madeira serrada e beneficiada. Rio de Janeiro, 1982.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12284**: Áreas de vivência em canteiros de obras - Procedimento. Rio de Janeiro, 1991.
- BARROS, R. T. V. **Elementos de gestão de resíduos sólidos**. Belo Horizonte: Tessitura, 2012.
- BARROS, M. M. S. B.; MELHADO, S. B. **Recomendações para a produção de estruturas de concreto armado em edifícios**. Apostila do curso de Tecnologia de Construção de Edifícios I. São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.
- BAUER, L. A. F. **Materiais de construção: 2**. 5.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- BERGSDAL, H.; BOHNE, R.A.; BRATTEBØ, H. Projection of Construction and Demolition Waste in Norway. **Journal of Industrial Ecology**, v. 11, n. 3, p. 27-39, 2007.
- BIRBOJM, A.; SOUZA, U.E.L. Construções Temporárias para o canteiro de obras. **Boletim Técnico EPUSP/PPC/315**. São Paulo, 2002.
- BORDEAU, L. CIB Agenda 21 on Sustainable Construction. **CIB Report Publication 237**. Rotterdam: CIB, 1999.
- BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego -MTE. Superintendência Regional do Trabalho e Emprego do Rio Grande do Sul. **Análises de acidentes do trabalho fatais no Rio Grande do Sul: a experiência da Seção de Segurança e Saúde do Trabalhador – SEGUR**. Porto Alegre: Superintendência Regional do Trabalho e Emprego do Rio Grande do Sul. Seção de Segurança e Saúde do Trabalhador/SEGUR; 2008.
- BRASIL. **Decreto-Lei nº 5452 de 1º de maio de 1943** [Consolidação das Leis do Trabalho]. Brasília, DF. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto-lei/Del5452.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/Del5452.htm) >. Acesso em: 17 dez. 2016.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Constituicao/Constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm)>. Acesso em: 17 dez. 2016.

BRASIL. **Lei n.º 12.035, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF. 2010.

BRASIL. **Lei Complementar nº 123, de 14 de dezembro de 2006**. Institui o Estatuto Nacional da Microempresa e da Empresa de Pequeno Porte; altera dispositivos das Leis nº8.212 e 8.213, ambas de 24 de julho de 1991, da Consolidação das Leis do Trabalho - CLT, aprovada pelo Decreto-Lei nº 5.452, de 1º de maio de 1943, da Lei nº 10.189, de 14 de fevereiro de 2001, da Lei Complementar nº 63, de 11 de janeiro de 1990; e revoga as Leis nº 9.317, de 5 de dezembro de 1996, e 9.841, de 5 de outubro de 1999. Brasília, DF. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/LCP/Lcp123.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LCP/Lcp123.htm)>. Acesso em: 17 dez. 2016.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 06: equipamento de proteção individual**, 2015. Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR6.pdf>>. Acesso em: 17 dez. 2016.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 18: condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção**, 2015. Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR18/NR18atualizada2015.pdf>>. Acesso em: 17 dez. 2016.

CARTER, G.; SMITH, S. D. Safety hazard identification on construction projects. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 132, n. 2, p. 197-205, 2006.

CBIC. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Banco de dados: PIB Brasil e Construção Civil**. Belo Horizonte: CBIC, 2015. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil>>. Acesso em: 02 dez. 2016.

CÉSAR, S. F.; COSTA, M. L.; CUNHA, R. D. A. Identificação, Caracterização e Gestão de Resíduos de Madeira em Obras de Edificações em Salvador-BA. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2009, Recife – PE. **Anais...** Recife: UFBA, 2009.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 307 de 05 de julho de 2002**. Brasília. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em: 17 dez. 2016.

COSTA, M. L. **Identificação, caracterização e gestão dos resíduos de madeira produzidos em obras de edificações em Salvador**. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo). Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2007.

DIAS, M. F. **Modelo para estimar a geração de resíduos na produção de obras residenciais verticais**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Unisinos, São Leopoldo, 2013.

FAJERSZTAJN, H.; LANDI, F. R. Formas para concreto armado: aplicação para o caso do edifício. **Boletim Técnico**. Escola Politécnica da USP – Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo: EPUSP, 1992.

FARESIN, A. E.; MELO, E. F. R. Q. Diagnóstico dos resíduos da construção civil do município de Erechim, RS. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2009, Recife. **Anais...** UPF, 2009.

FORZA, C. Survey research in operations management: a process-based perspective. **International journal of operations & production management**, v. 22, n. 2, p. 152-194, 2002.

FRANKENFELD, N. **Produtividade**. Rio de Janeiro: CNI, 1990.

FSC. FOREST STEWARDSHIP COUNCIL. **Consumo responsável de madeira: um guia completo para o uso do produto certificado**. São Paulo: FSC Brasil, 2014.

FEPAM. FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER/RS. **Portaria Nº 009/2012**, de 08 de fevereiro de 2012.

FUNDACENTRO. **Engenharia de segurança do trabalho na indústria da construção**. São Paulo, 2011.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GONZÁLEZ, M.A.S.; RAMIRES, M.V.V. Análise de gestão dos resíduos gerados dentro dos canteiros de obras. In: SIBRAGEC, I ELAGEC, 4., 2005, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 2005. CD-ROM.

HAIR, J. et al. **Multivariate data analysis**. 7. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2014.

HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE (HSE). **Safety statistics bulletin 1999/2000**, London.

IBGE. **Pesquisa Anual da Indústria da Construção 2013**. Rio de Janeiro. 2013. Disponível em: <[http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/54/paic\\_2013\\_v23.pdf](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/54/paic_2013_v23.pdf)>. Acesso em: 2 dez. 2015.

IMAZON. INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA. Disponível em <<http://imazon.org.br/acertando-o-alvo-2-consumo-de-madeira-amazonica-e-certificacao-florestal-no-estado-de-sao-paulo/>>. Acesso em 17 dez. 2016.

JAILLON, L.; POON, Chi-Sun; CHIANG, Y. H. Quantifying the waste reduction potential of using prefabrication in building construction in Hong Kong. **Waste management**, v. 29, n. 1, p. 309-320, 2009.

JOHN, V M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) -- Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. Reciclagem de resíduos da construção. In: SEMINÁRIO – RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES, São Paulo, 2000. **Anais...**São Paulo, 2000.

KARTAM, N. A. Integrating safety and health performance into construction CPM. **Journal Construction Engineering Management**, [S.l.], v. 123, n. 2, p. 121–126. 1997.

KATZ, A. BAUM, H. **A novel methodology to estimate the evolution of construction waste in construction site**. *Journal of Waste Management*, v. 31, n. 2, p. 353-358, 2010.

KERN, A. P. et al. Waste generated in high-rise buildings construction: A quantification model based on statistical multiple regression. **Waste Management (Elmsford)**, v. 39, p. 35-44, 2015.

LIMMER, C. V. **Planejamento, orçamento e controle de obras e projetos**. Rio de Janeiro: LTC, 1997.

LU, W. et al. An empirical investigation of construction and demolition waste generation rates in Shenzhen city, South China. **Waste Management**, v. 31, n. 4, p. 680-687, 2011.

MÁLIA, M.; BRITO, J. DE.; BRAVO, M. Indicadores de resíduos de construção e demolição para construções residenciais novas. **Ambiente construído**. Porto Alegre, v. 11, n. 3, p. 117-130, jul/set. 2011.

MARTINS, R. A. Abordagens quantitativa e qualitativa. In: MIGUEL, P. A. C. (Coord.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. p. 47-63.

MASLOW, A; STEPHENS, D. (Eds.). **The Maslow Business Reader**. New York: Wiley, 2000.

MATTAR, F. **Pesquisa de marketing**. São Paulo: Atlas. 1996.

METHA, P. K. A Concrete Technology for Sustainable Development: An Overview of Essential Principles. **CANMET/ACI International Symposium on Concrete Technology for Sustainable Development**, Vancouver, 1999.

MIRANDA, L. F. R.; ÂNGULO, S. C.; CARELLI, E. D. **A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008**. SP e PE. 2008.

MOORE, David S.; MCCABE, George P. **Introdução à prática da estatística**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, c2002.

MAÑÀ I REIXACH, F.; GONZÁLEZ I BARROSO, J.; SAGRERA I CUSCÓ, A. **Plan de Gestión de Residuos en las Obras de Construcción y Demolición**. Catalunya, España: Dirección General de Medio Ambiente, Instituto de Tecnología de la Construcción de Catalunya, 2000.

MOSSMANN, A.S. **Levantamento do gerenciamento dos resíduos de madeira utilizada para a confecção de forma de estrutura de concreto armado**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) -- Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Unisinos, São Leopoldo, 2011.

MOTTA, S. F. R.; AGUILAR, M. T. P. Sustentabilidade e processos de projetos de edificações. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 4, n. 1, p. 88-123, 2009.

NAZAR, N. **Formas e escoramentos para edifícios**: critérios para dimensionamento e escolha do sistema. 1. ed. São Paulo. Pini, 2007.

NOVAES, M. V.; MOURÃO, C. A. M. A. **Manual de gestão ambiental de resíduos sólidos na construção civil**. Fortaleza: COOPERCON/CE, 2008.

OLIVEIRA, I. L.; SERRA, S. M. B. Análise da organização de canteiros de obras. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, v. 11, p. 2516-2521, 2006.

OLIVEIRA, M. M.; ATHAYDE JÚNIOR, G. B. I-012- Aplicação da Metodologia Delphi para Elaboração de Critérios para Minimização da Geração de Resíduos da Construção Civil. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 11., Brasília, 2014. **Anais....** Brasília, 2014.

ONU. **Declaração Universal dos Direitos do Homem**. Disponível em: <<http://www.dudh.org.br/wp-content/uploads/2014/12/dudh.pdf>>. Acesso em 17 dez. 2016.

PEÑALOZA, G.A. **Avaliação de atendimento a requisitos de desempenho de sistemas de proteção periférica (SPP)**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) -- Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2015.

PEREIRA, L. C. H. **Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição**: aplicação à zona norte de Portugal. Guimarães, 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Guimarães, 2002.

PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de construção**. 5.ed. Porto Alegre: Globo, 1980.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. 190 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) -- Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

POON, C. S.; YU, A. T. W.; JAILLON, L. Reducing building waste at construction sites in Hong Kong. **Construction Management and Economics**. v. 22, n. 5, p. 461-470. 2004.

RATAJCZAK, Ewa et al. Resources of post-consumer wood waste originating from the construction sector in Poland. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 97, p. 93-99, 2015.

ROSS, Robert J. et al. **Wood handbook: wood as an engineering material**. USDA Forest Service., Forest Products Laboratory., 2010.

SÁEZ, P. V.; MERINO, M. Del R.; PORRAS-AMORES, C. Estimation of construction and demolition waste volume generation in new residential buildings in Spain. **Waste Management & Research**, v. 30, n. 2, p. 137-146, 2012.

SARDÁ, M. **Diagnóstico do entulho gerado na cidade de Blumenau**: potencialidade de uso em obras públicas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2003.

SÃO PAULO. **Protocolo madeira é legal**. São Paulo, 2009.

SAURIN, T. A.; FORMOSO, C. T. **Planejamento de canteiros de obra e gestão de processos**. ANTAC, 2006.

SOBRAL, L. et al. **Acertando o alvo 2: consumo de madeira amazônica e certificação florestal no Estado de São Paulo**. Belém: Imazon, 2002.

SINDUSCON-SP. **Aquisição responsável de madeira na construção civil: guia prático para as construtoras**. São Paulo, 2011.

TAM, C. M. et al. Use of prefabrication to minimize construction waste-a case study approach. **International Journal of Construction Management**, v. 5, n. 1, p. 91-101, 2005.

VASCONCELLOS, F. A. Neto. Gestão de resíduos da construção civil. In: Simpósio Latinoamericano de construção sustentável, 1. São Paulo, 2004. **Anais...** 2004.

WARD, J.; MACKES, K.; LYNCH, D. Wood Wastes and Residues Generated Along the Colorado Front Range as a Potential Fuel Source. Res. Pap. RMRS-RP-50. Fort Collins, Colorado. **USDA Forest Service**, Rocky Mountain Research Sta, 2004.

WEINSTOCK, G. Agenda 21 para a Construção Sustentável. **Relatório CIB – Publicação 237**, nov. 2000.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: planejamento e métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman , 2015.

YUBA, A. N. **Cadeia produtiva de madeira serrada de eucalipto para produção sustentável de habitações**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) -- Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2001.

ZENID, J. G. Madeira na construção civil. **Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo**, São Paulo, 2011.

ZENID, J. G. **Madeira: uso sustentável na construção civil**. 2. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2009.

## APÊNDICE – OFÍCIO PARA AS EMPRESAS

São Leopoldo, junho de 2016.

Prezados Senhores,

Venho por meio desta, apresentar o aluno do curso do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Unisinos, Eng. Luciano Vargas Amor, que realiza a Dissertação de Mestrado sob minha orientação, e solicitar acesso a dados e informações sobre projetos, resíduos e instalações provisórias de obras. O trabalho versa sobre impactos ambientais decorrentes de instalações provisórias, com foco no uso da madeira e geração de resíduos. Para tanto, precisamos de dados de diferentes empresas e canteiros, por isso, contamos com a sua participação. As informações obtidas serão tratadas como confidenciais, e nos comprometemos divulgar os resultados a partir de análises do conjunto de dados, não permitindo a identificação das empresas ou obras envolvidas. Certos de sua parceria,

Atenciosamente,



Prof. Dra. Andrea Parisi Kern  
Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil  
Universidade do Vale do Rio dos Sinos