



**FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ANA LAURA PALMIER  
NERY DARC COSTA SILVA**

**ANÁLISE DE DESEMPENHO NO USO DO PÓ DE  
SERRAGEM COMO AGREGADO MIÚDO NA PRODUÇÃO  
DE CONCRETO.**

**PUBLICAÇÃO N°: 03**

**GOIANÉSIA / GO  
2022**



**ANA LAURA PALMIER  
NERY DARC COSTA SILVA**

**ANÁLISE DE DESEMPENHO NO USO DO PÓ DE  
SERRAGEM COMO AGREGADO MIÚDO NA PRODUÇÃO  
DE CONCRETO.**

**PUBLICAÇÃO N°: 03**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA FACEG.**

**ORIENTADOR: ROBSON DE OLIVEIRA FELIX**

**GOIANÉSIA / GO  
2022**

## FICHA CATALOGRÁFICA

PALMER, Ana Laura; Darc, Nery Costa Silva

Análise de desempenho no uso do pó de serragem como agregado miúdo na produção de concreto. 2022, xviii, 42P, 297 mm (ENC/FACEG, Bacharel, Engenharia Civil, 2022).

TCC – FACEG – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Civil.

1. Concreto Sustentável

2. Substituição

3. Resíduos de Madeira

I. ENC/FACEG

II. Título (Série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

PALMIER, A. L.; DARC, N.C.S. Análise de desempenho no uso do pó de serragem como agregado miúdo na produção de concreto. TCC, Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia, GO, 60p. 2022.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Ana Laura Palmier

Nery Darc Costa Silva

TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Análise de desempenho no uso do pó de serragem como agregado miúdo na produção de concreto.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2022

É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

*Ana Laura Palmier*

Ana Laura Palmier

analaura-alp@hotmail.com

76381-137 - Goianésia/Go-Brasil

*Nery Darc Costa Silva*

Nery Darc Costa Silva

nerydarc@hotmail.com


76381-137 - Goianésia/Go-Brasil


**ANA LAURA PALMIER  
NERY DARC COSTA SILVA**

**ANÁLISE DE DESEMPENHO NO USO DO PÓ DE  
SERRAGEM COMO AGREGADO MIÚDO NA PRODUÇÃO  
DE CONCRETO.**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA FACEG COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**

**APROVADO POR:**

  
\_\_\_\_\_  
**ROBSON DE OLIVEIRA FÉLIX, Mestre (Faculdade Evangélica de Goianésia)  
(ORIENTADOR)**

  
\_\_\_\_\_  
**IGOR CEZAR SILVA BRAGA, Mestre (Faculdade Evangélica de Goianésia)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

  
\_\_\_\_\_  
**VILSON DALLA LIBERA JÚNIOR, Mestre (Faculdade Evangélica de Goianésia)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: GOIANÉSIA/GO, 06 de JUNHO de 2022.**

*Dedico este trabalho:  
Aos meus avós, Valdeci e Alcendino pelo apoio, confiança e amor;  
Ao meu esposo, Wémerson pelo companheirismo, compreensão, amor e cuidado;  
Ao meu amado pai, Ivanildo (in memoriam), por me ensinar e me fazer saber que tipo  
de ser humano eu gostaria de me tornar;  
Dedico ainda aos meus familiares e amigos que através do incentivo, contribuíram  
para chegar até aqui.*

Ana Laura Palmier Manguiera

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo suspiro de vida, pelo propósito na qual tem me designado, e muito mais pelos ensinamentos diários de amor, caridade, bondade e paciência, pela oportunidade de concluir mais essa etapa em minha vida e por realizar mais um sonho dos meus avós, que é me ver formada. Aos meus avós, Valdeci e Alcendino, por cada oração, por serem a minha base, por abdicarem de sua vida para ajudar a construir a minha, por me mostrarem os caminhos certos, e por sempre serem meus maiores exemplos de honestidade, paciência e sabedoria. Ao meu esposo, o meu maior incentivador, meu companheiro de vida e meu melhor amigo, que tem sido meu braço forte durante esses anos e tem feito de tudo para que esse ciclo seja concluído. Aos meus irmãozinhos, Arthur e Heitor, por me ensinarem o verdadeiro significado de amar, e mesmo sem saberem, tem me dado forças todos os dias para nunca desistir.

Ao professor Mestre Robson Felix, agradeço pela disposição em ajudar-nos, pela paciência e por todo aprendizado ao longo do nosso trabalho de conclusão de curso e também no decorrer de toda a graduação. A cada professor que fez parte desta trajetória, que sempre serão lembrados e que tiveram um papel de suma importância em minha vida. A minha amiga e companheira Nery Darc, por ser meu braço direito, pelo voto de confiança e de paciência, e pela amizade dentro e fora da instituição.

Agradeço a todos meus familiares, que compreenderam quando não pude estar junto a eles, a todos meus amigos de trabalho, que dividiram comigo sua caminhada, e também a minha chefe, Denise, que me inspira todos os dias, com exemplo de mulher forte e guerreira. Enfim, agradeço pela vida de cada um, e que Deus possa estar à frente de todos os caminhos e portas que se abrirão daqui em diante.

Ana Laura Palmier Mangueira

*Dedico este trabalho:  
Aos meus pais, Vilma e Benedito pelo amor, compreensão e apoio;  
A minha irmã Ludmilla pelo companheirismo e carinho;  
Ao meu primo Vitor Hugo (in memorian) e minha tia Maria (in memorian), por me  
fazer entender sobre o propósito além da vida;  
Dedico ainda aos meus amigos que contribuíram e incentivaram para eu ter chegado  
até aqui.*

Nery Darc Costa Silva

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me designar a um propósito de vida, onde a paciência e compreensão muitas vezes foram testadas, porém o seu amor sempre foi tão incondicional que me proporcionou dentre muitas mais essa vitória. A minha mãe Vilma que me trouxe a vida e sempre foi meu exemplo de honestidade, responsabilidade, amizade e que por nenhum momento se recusou ao dar o máximo de si para me ver realizada e feliz. Ao meu pai Benedito, que sempre representará o exemplo de força e dedicação na minha vida onde por mais cansado que estivesse continuou trabalhando para o meu crescimento. A minha irmã Ludmilla agradeço por está comigo compartilhando cada momento dessa jornada, me encorajando e compreendendo a importância de alcançar essa meta.

Ao professor Mestre. Robson Felix obrigado pela dedicação, paciência e disponibilidade durante todo esse período de graduação e ao excelente trabalho desenvolvido como orientador do nosso trabalho de conclusão de curso. A minha amiga e companheira Ana Laura por compartilhar desse momento, compreender cada fase do processo e pela amizade que estruturou toda nossa jornada. A cada professor que contribuiu durante esses cinco anos meu eterno carinho e gratidão pelos conhecimentos compartilhados, a paciência e compreensão. Aos tantos outros amigos e colegas que foram feitos durante essa graduação vocês desempenharam um papel muito importante no meu crescimento principalmente como pessoa ao compartilhar suas histórias de vida.

Durante toda a minha graduação a minha vida profissional sempre se fez presente deste modo agradeço a cada colega de trabalho pelo apoio, respeito, compreensão e incentivo. Enfim, agradeço pela vida e a todos que fazem parte dela e que no próximo ciclo que se iniciar Deus possa ser tão generoso como foi nesse que está chegando ao fim.

Nery Darc Costa Silva



*“Olhai para os lírios do campo, como crescem; não trabalham nem fiam...Não vos inquieteis, pois, pelo dia de amanhã; porque o dia de amanhã cuidará de si mesmo. Basta a cada dia o seu mal”  
(Mateus 6: 28,34)*

## RESUMO

A frequente busca por inovação, custo benefício e sustentabilidade na construção civil estimula a busca por materiais alternativos que podem, através de estudos, desempenhar suas funções de maneira satisfatória quando comparados aos materiais já difundidos no setor. O Brasil é um dos países que tem altos índices de extração e consumo indevido de madeira, afetando diretamente setores como a economia e meio ambiente, e tem uma produção de resíduos significativa que na maioria das vezes são descartados de forma errônea. Esse trabalho tem por objetivo avaliar, através de um estudo de desempenho, o uso do pó de serragem na fabricação de concreto em substituição parcial ao agregado miúdo natural, utilizando o método experimental de fabricação e testagem da resistência à compressão. Para a análise foi necessário realizar a fabricação de corpos de prova de concreto com substituição parcial da massa de areia (0, 2, 4 e 6%) por resíduos de madeira proveniente do setor moveleiro, com um ensaio de resistência à compressão nas amostras fabricadas, a comparação dos dados obtidos referente ao peso específico do concreto. Os resultados obtidos comprovaram a redução do peso específico do concreto em até 26% quando comparado ao tratamento produzido com 6% de substituição da massa de areia por pó de serragem, gerando assim concreto de caráter leve. Quanto aos resultados de resistência a compressão do concreto aos 14 dias, os resultados referentes a substituição da areia por serragem não foram satisfatórios, sendo a resistência média do tratamento referência de 21,52MPa, enquanto que os demais tratamentos com substituição obtiveram respectivamente 7,52, 5,14 e 4,06 MPa com os 14 dias, para os 28 dias de processo os resultados foram semelhantes aos de 14 dias. Conclui-se que a utilização do pó de serragem como agregado miúdo no concreto não apresenta resultados satisfatório de resistência à compressão, porém apresenta bons resultados quanto à sua utilização como concreto leve de uso não estrutural.

**Palavras chave:** Concreto Sustentável; Substituição; Resíduos de Madeira.

## ABSTRACT

The frequent search for innovation, cost benefit and sustainability in civil construction stimulates the search for alternative materials that can, through studies, perform their functions satisfactorily when compared to materials already widespread in the sector. Brazil is one of the countries that has high rates extraction and improper consumption, of wood directly affecting sectors such as the economy and the environment, and has a significant waste production that most of the time is discarded incorrectly. This work aims to evaluate, through a performance study, the use of sawdust in the manufacture of concrete as a partial replacement for fine natural aggregate, using the experimental method of manufacturing and testing the compressive strength. For the analysis it was necessary to manufacture concrete specimens with partial replacement of sand mass (0, 2, 4 and 6%) by wood waste from the furniture industry, with a compressive strength test on the manufactured samples, and to compare the data obtained for the specific weight of the concrete. The obtained showed a reduction in the specific weight of the concrete by up to 26% when compared to the treatment produced with 6% of sand mass replacement by sawdust, thus generating lightweight concrete. The average compressive strength of the reference treatment was 21.52 MPa, while the other treatments with replacement obtained respectively 7.52, 5.14 and 4.06 MPa at 14 days, for the 28 days process the results were lower than those of the 14 days. It can be concluded that the use of sawdust as fine aggregate in concrete does not present satisfactory results of compressive strength, but presents good results regarding its use as lightweight concrete for non-structural application.

**Keywords:** Sustainable Concrete; Replacement; Wood Waste.

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 1</b> – Processo de fabricação cimento Via úmida .....	5
<b>Figura 2</b> – Processo de fabricação cimento Via Seca.....	6
<b>Figura 3</b> – Processo de peneiramento do material que substituirá em porcentagem a areia. ..	14
<b>Figura 4</b> - Curva granulométrica .....	14
<b>Figura 5</b> – Recipiente com amostra do agregado miúdo solto. ....	15
<b>Figura 6</b> – Recipiente com amostra do agregado graúdo solto. ....	17
<b>Figura 7</b> – Recipiente com amostra do agregado graúdo solto compactado. ....	18
<b>Figura 8</b> – Abatimento para teste de consistência do concreto. ....	22
<b>Figura 9</b> – Tratamento dos cilindros para serem submetidos a moldagem. ....	23
<b>Figura 10</b> – Pesagem do corpo de provas depois de fazer a desforma. ....	24
<b>Figura 11</b> – Representação dos valores adquiridos com a pesagem.....	27
<b>Figura 12</b> – Corpos de prova sendo rompidos em idade de 14 dias .....	28
<b>Figura 13</b> – Resistência aos 14 e 28 dias dos corpos de prova.....	28
<b>Figura 14</b> - Regressão para “Massa do corpo de prova” em (g).....	32
<b>Figura 15</b> - Regressão para “Resistência à compressão aos 14 dias” em (MPa).....	34
<b>Figura 16</b> - Regressão para “Resistência à compressão aos 28 dias” em (MPa).....	37

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Porcentagem de massa retida acumulada .....	14
<b>Tabela 2</b> – Unidades de medidas adotadas sobre os materiais para o cálculo de dosagem.....	19
<b>Tabela 3</b> – Unidades de medidas adotadas sobre os materiais para o cálculo de dosagem.....	21
<b>Tabela 4</b> - Tratamentos para a produção dos corpos de prova de concreto .....	21
<b>Tabela 5</b> – Comparação da massa dos tratamentos estudados.....	26
<b>Tabela 6</b> – Resistência à compressão dos tratamentos estudados.....	29
<b>Tabela 7</b> - Análise de Variância para massa dos corpos de prova.....	30
<b>Tabela 8</b> - Resumo do Teste Tukey a 5% de probabilidade para massa dos corpos de prova em (g) .....	31
<b>Tabela 9</b> - Análise de Regressão para variável “Massa do corpo de prova” .....	31
<b>Tabela 10</b> - Análise de Variância para resistência à compressão dos corpos de prova aos 14 dias.....	32
<b>Tabela 11</b> - Resumo do Teste Tukey a 5% de probabilidade para resistência à compressão aos 14 dias em (MPa).....	33
<b>Tabela 12</b> - Análise de Regressão para variável “Resistência à compressão aos 14 dias”.....	34
<b>Tabela 13</b> - Análise de Variância para resistência à compressão dos corpos de prova aos 28 dias.....	35
<b>Tabela 14</b> - Resumo do Teste Tukey a 5% de probabilidade para resistência à compressão aos 28 dias em (MPa).....	36
<b>Tabela 15</b> - Análise de Regressão para variável “Resistência à compressão aos 28 dias” .....	36

**LISTA DE QUADROS**

**Quadro 1** – Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo pela NBR 7211 ..... 7

**Quadro 2** – Limites da distribuição granulométrica do agregado graúdo pela NBR 7211 ..... 8

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANOVA – Análise de Variância

FACEG – Faculdade Evangélica de Goianésia

IBA – Indústria Brasileira de Árvores

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais e renováveis

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

MDF – *Medium Density Fiberboard*

SFB – Serviço Florestal Brasileiro

**LISTA DE SÍMBOLOS**

- $\rho_a$  - Massa específica da água ( $\text{g/cm}^3$ )
- $Abs$  - Absorção de água em porcentagem
- $\rho_{mu}$  - Massa unitária do agregado ( $\text{kg/m}^3$ )
- $m_{ar}$  - Massa do recipiente com agregado (kg)
- $m_r$  - Massa do recipiente vazio (kg)
- $V$  - Volume do recipiente ( $\text{m}^3$ )
- $E_V$  - Índice de vazios nos agregados (%)
- $d_1$  - Massa específica do agregado seco ( $\text{kg/m}^3$ )
- $\rho_w$  - Massa específica da água ( $\text{kg/m}^3$ )
- $\rho_{ap}$  - Massa unitária média do agregado ( $\text{kg/m}^3$ )
- $f_c$  - Resistência à compressão (MPa)
- $F$  - Força máxima (N)
- $D$  - Diâmetro do corpo de prova (mm)



## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>x</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	2
1.2 OBJETIVOS .....	3
<b>1.2.1 Objetivo Geral.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>3</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
2.1. AGLOMERANTE.....	4
<b>2.1.1 Cimento Portland.....</b>	<b>4</b>
2.2. AGREGADOS .....	6
<b>2.2.1 Areia .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2.2 Brita e pedregulho .....</b>	<b>7</b>
<b>2.2.4 Pó de Serragem .....</b>	<b>8</b>
2.2.4.1 MDF .....	9
2.2.4.2 Madeira de lei.....	10
2.3 IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS PELOS RESÍDUOS INDUSTRIAIS .....	11
2.4 análise ESTATÍSTICA.....	11
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>13</b>
3.1 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE AMOSTRAGEM .....	13
<b>3.1.1 Análise granulométrica .....</b>	<b>13</b>
3.2. PROCEDIMENTO DE ensaio .....	15
<b>3.2.1 Definição dos valores para a massa unitária e massa específica dos agregados</b>	<b>15</b>
3.2.1.1 Massa unitária e massa específica do agregado miúdo - areia.....	15
3.2.1.2 Massa unitária e massa específica do agregado graúdo .....	16
<b>3.2.2 Definição do traço .....</b>	<b>19</b>
<b>3.2.3 Análise estatística dos tratamentos .....</b>	<b>21</b>
<b>3.2.4 Realização do teste de consistência do concreto.....</b>	<b>22</b>
<b>3.2.5 Moldagem dos corpos de provas.....</b>	<b>23</b>
<b>3.2.6 Determinação da resistência a compressão .....</b>	<b>24</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>26</b>
4.1. AVALIAÇÃO Da massa unitária.....	26
4.2. AVALIAÇÃO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO .....	28

4.3. análise estatística .....	30
<b>4.3.1 Análise estatística para a variável massa dos corpos de prova.....</b>	<b>30</b>
4.3.1.1 Análise de variância (ANOVA) .....	30
4.3.1.2 Comparativo de média – Teste de Tukey .....	31
<b>4.3.2 Análise estatística para a variável resistência à compressão aos 14 dias.....</b>	<b>32</b>
4.3.2.1 Análise de variância (ANOVA) .....	32
4.3.2.2 Comparativo de média – Teste de Tukey .....	33
<b>4.3.3 Análise estatística para a variável resistência à compressão aos 28 dias.....</b>	<b>35</b>
4.3.3.1 Análise de variância (ANOVA) .....	35
4.3.3.2 Comparativo de média – Teste de Tukey .....	35
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>38</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>39</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A preocupação em instruir sobre a necessidade da preservação do meio ambiente e a busca em reutilizar materiais que vão ser descartados de forma incorreta, está sendo foco de vários temas na área da construção civil. O investimento em adequação de equipamentos e quadro técnico de várias empresas está sendo reformulado de forma parcial ou até mesmo total com o objetivo de consolidar a importância da redução de perdas e reciclagem de resíduos (DANTAS FILHO, 2004).

Um dos maiores setores no mercado nacional é o setor moveleiro e que tem um consumo significativo de madeira. De acordo o IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis), cerca de 30 a 60% das árvores extraídas são direcionadas para vários processos de transformação e acabam se tornando um tipo de resíduo, no qual é classificado em diversos tipos e espécies (IBAMA, 2019). A construção civil carrega como responsabilidade a renovação do ambiente natural e construtivo, visando atribuir soluções para que o impacto seja menor. Alguns resíduos vêm sendo estudados e aproveitados como matéria prima como, por exemplo, a substituição de agregados miúdos e graúdos naturais por resíduos oriundos do uso da madeira.

O concreto sustentável já estudado e produzido no brasileiro expressa resultados significativos na redução das emissões de CO<sub>2</sub> nas indústrias cimentícias, atribuindo assim em ser a referência mundial em produção de cimento com baixa emissão de gás CO<sub>2</sub> (HELENE, 2012). Em geral a massa de clínquer presente no cimento pode ser substituída por outros materiais e proporcionar um resultado satisfatório.

Além de mudanças na fabricação dos materiais a serem usados na produção de concreto, outros elementos podem contribuir para que as ações da construção civil sejam mais limpas e sustentáveis. O pó de serragem é caracterizado como um resíduo sólido onde pode ser utilizado como um agregado miúdo que além de ser viável ambientalmente, e se encaixa na proposta de incentivo legislativo regido pela Lei nº 12.305/10, que tem por finalidade buscar por ferramentas que auxiliam na redução dos impactos ambientais (DANTAS FILHO, 2004).

Ainda segundo Dantas Filho (2004), no início dos anos oitenta começaram a ser realizados os primeiros estudos no Brasil no seguimento de utilizar fibras vegetais como elemento para uso na construção civil. A resistência encontrada por alguns pesquisadores indica que tais materiais são menos resistentes quando comparados aos traços convencionais, entretanto os procedimentos estão dentro do estipulado pelas normas da ABNT, como por exemplo a NBR 16889 que determina a consistência pelo abatimento do tronco de cone. Além

disso, pontuaram mais características importantes como condutividade térmicas e a redução no peso após a produção final.

Devido a emissão de CO<sub>2</sub> e outras questões ambientais negativas já mencionadas dos elementos que fazem parte da fabricação do concreto, é possível empregar alguns tipos de concretos sustentáveis, ou seja, concretos com substituição parcial ou até mesmo total dos agregados convencionais por materiais que auxiliam na redução dos impactos ambientais como os resíduos em geral. Por fim, a pesquisa foi sendo desenvolvida com a intenção de avaliar as alterações no estado físico e mecânico quando usado materiais de origem vegetal e com diversas características diferentes na substituição de agregados do concreto.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A frequente busca por inovação, custo benefício e sustentabilidade na construção civil estimula a busca por materiais alternativos que podem, através de estudos, desempenhar suas funções de maneira satisfatória quando comparados a materiais já difundidos no setor. O Brasil é um dos países que tem altos índices de extração e consumo indevido de madeira, afetando diretamente setores como a economia e meio ambiente, e tem uma produção de resíduos significativa e que na maioria das vezes são descartados de forma errônea. Pensando nos impactos diretos e indiretos, pesquisas científicas são realizadas visando proporcionar uma redução desses resíduos, como a utilização do pó de serragem na substituição de forma parcial ou total dos agregados miúdos convencionais.

O pioneiro no desenvolvimento das pesquisas relacionadas ao tema, Dantas Filho (2004), afirma que há a possibilidade de reduzir a utilização de agregado miúdo para a fabricação de concreto e argamassa com o uso de resíduos oriundos da madeira, proporcionando maior leveza, além de melhora no isolamento térmico. A madeira tem a funcionalidade de reter água e é fisicamente um material higroscópico e anisotrópico, devido aos diferentes comportamentos em todos os eixos de orientação (GARCEZ, 2013).

O concreto é um dos materiais de maior uso na construção civil, principalmente no Brasil, sendo um material com alto impacto ambiental, devido a geração de resíduos na construção e pelo uso elevado de recursos naturais como a areia. Pensando em formas de redução dos impactos ambientais referente tanto à redução do uso da areia, quanto à destinação de resíduos oriundos da madeira, destaca-se a necessidade de estudos científicos que comprovem a funcionalidade da substituição do agregado miúdo natural por pó de serragem.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Esse trabalho tem por objetivo avaliar o uso do pó de serragem na fabricação de concreto com substituição parcial ao agregado miúdo natural e avaliar seu desempenho e peso específico através do ensaio de resistência a compressão.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Moldar corpos de prova de concreto com substituição parcial de areia por resíduos de madeira;
- Realizar a pesagem e comparação com o valor referência, para que seja certificado que há a possibilidade de uma diminuição do peso entre as substituições realizadas;
- Realizar ensaio de resistência à compressão nos corpos de provas, com um intervalo de 14 e 28 dias após serem moldados;
- Logo após o rompimento dos corpos de provas fazer a comparação dos resultados adquiridos, e verificar se são satisfatórios conforme estabelecidos em norma.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente referencial consiste em fundamentar os temas teóricos relacionados a utilização do pó de serragem para a fabricação de concreto, substituindo parcialmente ou totalmente o agregado miúdo por duas qualidades de madeira com o objetivo de verificar os parâmetros da NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto (ABNT, 2014).

Para a estruturação completa da revisão, algumas normativas de cunho específico também foram citadas ao decorrer do desenvolvimento, sendo elas, a NBR 7211:2019, NBR 12655:2022, NBR 16697:2018, NBR 16097:2012, NBR 6118:2014 e NBR 7190:1997.

### 2.1. AGLOMERANTE

#### 2.1.1 Cimento Portland

As rochas da ilha britânica de Portland foram a referência usada para a nomeação do cimento Portland devido as suas características de cor, durabilidade e solidez. Hoje considerado indispensável, sendo o material mais utilizado na construção civil, esse reconhecimento é advindo em função da sua versatilidade, que vai desde o uso como argamassa de assentamento de blocos de enchimento, até etapas de acabamento como o assentamento de cerâmicas de revestimento (ARAÚJO, 2008).

A primeira produção brasileira foi no ano de 1926, e a proposta era um composto químico, com um percentual acentuado de silicatos e aluminatos de cálcio com aspecto físico bastante fino. O cimento Portland, no seu processo de produção, é finamente moído e quando misturado com água reage de forma lenta, gerando assim um novo composto de forma sólida, por isso se tornou tão inovador e importante para a área da construção civil (ARAÚJO, 2008). A NBR 12655 define o uso do cimento Portland em vários tipos de estrutura, sendo elas, pré-moldadas, participação direta e indireta em componentes estruturais e estruturas moldadas em canteiro de obras (ABNT, 2022).

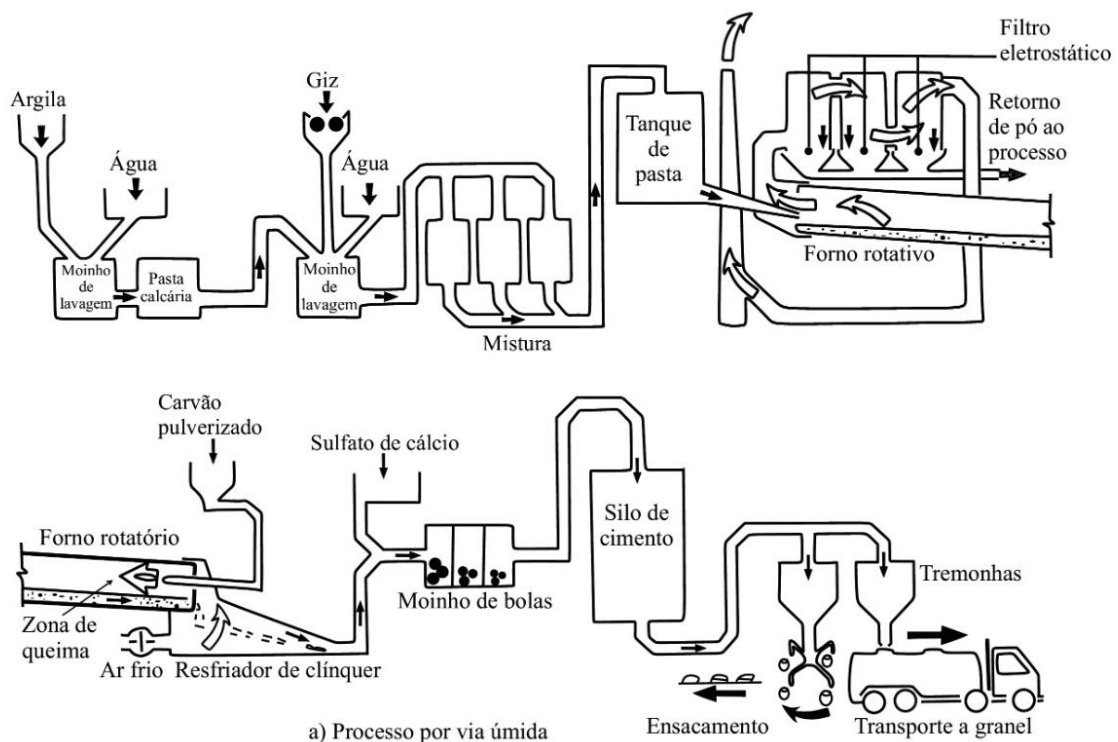
O concreto tem sua referência habitual como um material compósito e constituído por duas fases, a primeira é caracterizada pela sua atuação com um grande fator de módulo elástico e partículas de menor módulo dispersas conhecido como ideal *duro*. A segunda tem um módulo elástico alto, mas as partículas são dispersas de modo contínuo com o módulo mais baixo, sendo chamada de ideal *macio*. As diferenças entre as fases podem ser observadas de forma mais abrangente quando se calcula o módulo de elasticidade. Na fase do compósito duro, é levado

em conta uma deformação constante em qualquer seção transversal, enquanto o valor atribuído as tensões são proporcionais ao respectivo módulo. Para o material macio, sua influência de cálculo fica para as tensões, que é sucessivo em toda seção transversal (NEVILLE, 2016).

A NBR 16697 designa os cimentos Portland pela correspondência nas adições e propriedades especiais, seguidas de classe de resistência e atribuição de siglas (ABNT, 2018). O processo de produção é quem viabiliza a forma correta de referenciar e classificar os tipos de cimento Portland, após moer toda a matéria prima até a extração de um material, com a granulometria super fina, é realizada a queima de forma rotativa em temperatura de aproximadamente 1400° C. Por esse processo, ocorre a sinterização e fusão parcial na forma de clínquer, logo em seguida é feito o resfriamento onde recebe uma adição de sulfato de cálcio, e com a nova mistura, o processo para moer o material volta a ser repetido (NEVILLE, 2016).

O processo de fabricação pode ser realizado de duas maneiras, sendo elas, via úmida e via seca, e ambos advêm da mistura e moagem das matérias primas. A escolha do processo é feita a partir da dureza e teor de umidade de cada uma delas. As fábricas que realizavam o processamento por via úmida são quase inexistentes devido ao seu grande consumo de energia, fazendo com que o custo da produção se eleve muito. De acordo com o esquema da Figura 1, o processo de via úmida é realizado da seguinte maneira (NEVILLE, 2016).

**Figura 1** – Processo de fabricação cimento Via úmida

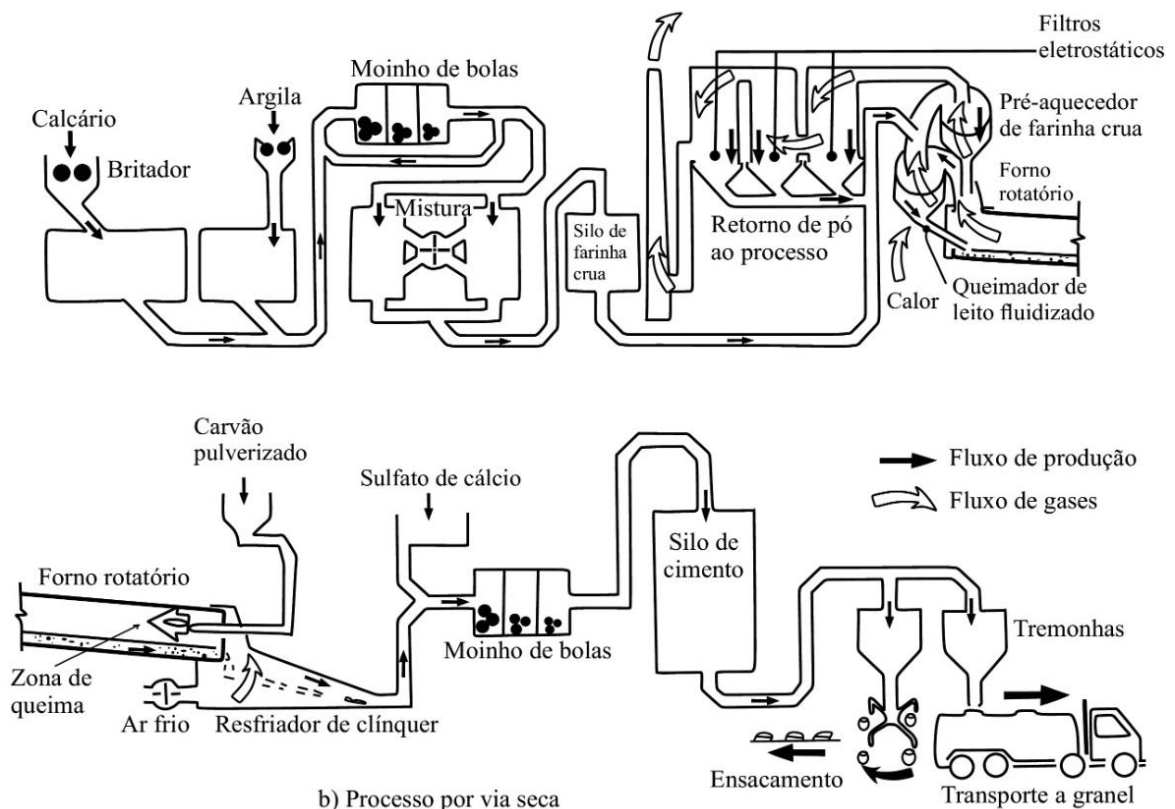


Fonte: NEVILLE, 2016.

Para o módulo de fabricação por via seca, as matérias primas são britadas, e dispostas em uma dosagem proporcional são levadas para um moinho onde são reduzidas a uma granulometria mínima, que é denominada de farinha crua. Posteriormente são direcionados ao silo de mistura concluindo assim o processo final do cimento (NEVILLE, 2016).

A fabricação pela via seca também é esquematizada pelo autor Neville (2016) e representada pela Figura 2.

**Figura 2 – Processo de fabricação cimento Via Seca**



Fonte: NEVILLE, 2016.

## 2.2. AGREGADOS

### 2.2.1 Areia

A areia grossa é definida como um agregado miúdo seguindo as orientações dadas pela NBR 7211, e suas medias ficam entre 1mm e 2mm e ressaltando alguns limites em forma de peneiras descritas no Quadro 1 (ABNT, 2009). O uso dos agregados miúdos ajuda na redução dos índices de vazios menores, como em uma escala os agregados com granulometria diferente se unem para que a massa fique uniforme.



**Quadro 1** – Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo pela NBR 7211

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

NOTA 1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.  
 NOTA 2 O módulo de finura utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.  
 NOTA 3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.

Fonte: ABNT, 2009.

Os parâmetros designados pela norma NBR 7211 atribuída aos agregados não se aplica a materiais de origem natural, podendo ser utilizados apenas aos de forma britada que são advindos de rochas, porém os padrões permaneceram os mesmos como referencial, para testagem de novas possibilidades em substituição parcial ou total do material natural (ABNT, 2009).

### 2.2.2 Brita e pedregulho

Agregado proveniente de rochas com um grande fator de dureza, o agregado graúdo tem sua classificação dada de acordo com as especificações da NBR 7211 que é deliberada pela quantidade de grãos que passaram pela peneira com abertura de 75mm e foram retidas na peneira de 4,75 mm, ressaltando os limites descritos no Quadro 2 (ABNT, 2009). O uso do agregado graúdo tem a trabalhabilidade de proporcionar uma maior resistência ao concreto e uma redução dos vazios maiores.

**Quadro 2** – Limites da distribuição granulométrica do agregado graúdo pela NBR 7211

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
	Zona granulométrica				
	d/D <sup>a</sup>				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75 mm	-	-	-	-	0-5
63 mm	-	-	-	-	5-30
50 mm	-	-	-	0-5	75-100
37,5 mm	-	-	-	5-30	90-100
31,5 mm	-	-	0-5	75-100	95-100
25 mm	-	0-5	5-25 <sup>b</sup>	87-100	-
19 mm	-	2-15 <sup>b</sup>	65 <sup>b</sup> -95	95-100	-
12,5 mm	0-5	40 <sup>b</sup> - 65 <sup>b</sup>	92-100	-	-
9,5 mm	2-15 <sup>b</sup>	80 <sup>b</sup> -100	95-100	-	-
6,3 mm	40 <sup>b</sup> -65 <sup>b</sup>	92-100	-	-	-
4,75 mm	80 <sup>b</sup> -100	95-100	-	-	-
2,36 mm	95-100	-	-	-	-

<sup>a</sup> Zona granulométrica correspondente a menor (*d*) e a maior (*D*) dimensões do agregado graúdo.

<sup>b</sup> Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com 2). Essa variação pode também estar distribuídas em vários desses limites.

Fonte: ABNT, 2009.

### 2.2.4 Pó de Serragem

Com sua origem proveniente de cortes em madeiras realizados por serras, o pó de serragem é um tipo de resíduo que cada vez mais tem espaço em pesquisas com a intenção do reaproveitamento e uma nova inserção na sociedade como um novo produto. De acordo com a instituição de Serviço Florestal Brasileiro (SFB), entre os anos de 2005 a 2015, o setor de madeira serrada teve um aumento significativo em sua produção com um crescimento de 52,3% (OLIVEIRA et al, 2019).

Em 2019 a Indústria Brasileira de Árvores (IBA) apontou alguns dados da produção em 2018 de madeira serrada que ficou 4,2% superior a produção de 2017 totalizado assim 9,1 milhões de m<sup>3</sup>. Desde o processo de retirada é observado que a produção de resíduos acompanha o crescimento das atividades e por ser gradativo as medidas para alcançar o máximo de reutilização precisam ser cada vez mais inovadoras (IBA, 2019).

Na construção civil, a madeira é utilizada em diversas formas, seja como escoramentos, como fôrmas ou como estruturas para telhado, gerando grande quantidade de resíduos. Nesse sentido, a resolução do CONAMA de nº 307 de 2002, classifica o resíduo da madeira como um

resíduo da construção civil de classe B, ou seja, que podem ser reciclados, mas para outras utilizações. Os resíduos da matéria prima são classificados em três tipos: serragem, cepilho e a lenha. Além de ser o único resíduo encontrado em todas as indústrias do ramo, com exceção das laminadoras, a serragem também é o único resíduo gerado em maior volume e apenas 40% dela é destinada a geração de energia (HILLIG et al, 2006).

A madeira é um material utilizado na geração de energia através da queima, no entanto, o pó de serragem ou pó de serra, é o resíduo com menor interesse no mercado, devido às impurezas presente no material e suas partículas finas, trazendo resistência nas empresas ao utilizá-la. Apesar da serragem ser uma matéria orgânica, ela necessita de um tratamento adequado para que possa ser utilizada, pois o descarte inadequado no solo causa problemas para o cultivo ou até mesmo na flora local (FAGUNDES, 2003).

#### 2.2.4.1 MDF

O painel de fibra de média densidade MDF (*Medium Density Fiberboard*) é um tipo de chapa de madeira que passa por um processo de produção sob pressão e alta temperatura. O seu processo de desenvolvimento é dividido em três categorias, que são eles físico, mecânico e biológico. No desempenho físico os fatores levados em consideração são, teor de umidade, inchamento de espessura e a densidade, já no mecânico o módulo de elasticidade, módulo de finura e força de fixação estão presentes, o biológico conta com a liberação de formaldeído (GUL, KHAN, SHAKOOR, 2015).

O MDF pode ter sua forma física encontrada em três tipos de acabamentos: chapas cruas, chapas com revestimento laminado de baixa pressão e chapas com revestimento *finish foil*. Possui características de um produto homogêneo, uniforme, com estabilidade de superfície plana e lisa que proporciona excelência na trabalhabilidade, alta maleabilidade para encaixar, cortar, parafusar, perfurar e moldurar as peças (LOPES, 2018).

Com as descrições dos processos e características que a produção de MDF proporciona, ressalta-se a sua importância para o setor florestal e madeireiro que é estimado em uma escala global de produção de aproximadamente 101 milhões de m<sup>3</sup> em 2013, segundo a pesquisa de FAOSTAT (2017). Para que tenha valores mínimos estipulados para o padrão de qualidade e referencial técnico, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), disponibiliza a norma 15316-2 (ABNT, 2019) pra essa verificação de parâmetros de produção dos painéis de média densidade.

A classificação dos resíduos provenientes da indústria moveleira (MDF, outras chapas de madeira reconstituída e madeira maciça, papéis e papelões) é de acordo com a norma NBR 10004 – Resíduos Classe II não inertes - que apresentam características de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água e Resíduos Classe I – perigosos - aqueles que oferecem risco a saúde pública ou ao meio ambiente (ABNT, 2004).

Com o objetivo de instruir e incentivar quanto ao uso racional de materiais vindos da madeira pela indústria moveleira o autor Farias et al. (2016) fez a avaliação do ciclo de vida (ACV) do MDF com os impactos e o tamanho dos danos gerados. Neste ciclo, destaca-se a emissão de partículas inorgânicas e o uso da terra, utilização de combustíveis fósseis, já as demais categorias apresentadas como cancerígenos, mudança climática, ecotoxicidade foram registradas em menor valor (FARIAS et al., 2016).

#### 2.2.4.2 Madeira de lei

No tempo Colonial, a expressão madeira de lei estava relacionado as madeiras que só podiam ser cortadas com permissão legal da Coroa, e eram utilizadas na construção de navios e casas. No princípio, dizia respeito basicamente ao pau-brasil, mas depois se estendeu a madeiras duras, resistentes aos ataques de fungos e insetos, no entanto, mesmo após a Independência, com a partida da lei portuguesa, e com a chegada de outras, a madeira no Brasil continuou a ser derrubada, mas a expressão ficou, como sinônimo de madeira boa e madeira nobre, devido suas características tão apreciadas (PIERI, 2021).

Devido os cortes excessivos, hoje em dia quase não se exporta elevada qualidade, preferindo a venda de madeira menos resistentes, mas com uma cobertura de madeira nobre. Nos tempos atuais essas madeiras são utilizadas em construções civis (portas, janelas, escadas), construção naval, móveis de luxo e em instrumentos musicais. Para identificar a madeira de lei, é necessário observar as características do grão e dos anéis, sendo cor, e amostra do lixamento. Dito isso, existem algumas espécies que são as mais conhecidas, mas também as que têm maior necessidade de proteção, como o Pau-Brasil, Jatobá, Ipê e Peroba (MENINO, 2017).

Em relação as propriedades físicas da madeira, a massa específica é uma das mais importantes pois é servida como referência para classificação da madeira, e de forma geral, as madeiras com peso mais acentuado são mais resistentes e elásticas em paralelo as vantagens como melhor trabalhabilidade e variabilidade. O teor de umidade de uma madeira é indispensável para que seu uso seja feito de forma adequada pois evita o início de uma patologia

como por exemplo o empenamento, arqueamento e torções dos fragmentos que passaram por algum processo antes de resultar em um produto final (MORESCHI, 2014).

### 2.3 IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS PELOS RESÍDUOS INDUSTRIAIS

A geração de resíduos de madeira no Brasil merece um destaque significativo. Dantas Filho (2004), mediante uma estimativa em seus estudos, prevê que uma serraria de médio porte produz em média, por mês, 2 mil metros cúbicos de madeira serrada, e que tal volume resultaria em 78 toneladas de serragem. Contabilizando as serrarias do país da época, ele afirma que cerca de 620 mil toneladas de serragem seriam geradas por ano.

Em dados um pouco mais recentes, Marozzi (2012) afirma que são gerados, por ano, 60 milhões de toneladas de resíduos madeireiros no Brasil. Cerca de 40 a 60% do volume da madeira são aproveitados durante o processo de transformação e manuseio, ou seja, há um desperdício em grande escala de tal material.

### 2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Na estatística, a análise de variância (ANOVA) é um método de testagem com possibilidade de comparação de três ou mais médias populacionais através das variâncias amostrais. Para a coleta de dados, e levando em conta as quantidades de variação, tamanhos amostrais e a natureza da distribuição das médias amostrais, a ANOVA é a uma das técnicas mais utilizadas para obter os valores de regressão das amostras, bem como a análise da diferença significativa entre os tratamentos analisados (SOUZA, 2015).

A Equação 1, apresentada abaixo, é baseada na soma dos quadrados das diferenças e observações em relação ao seu valor médio, sendo a forma inicial para traçar a análise de variância (ANOVA) (BRAVO, 2016).

$$SQ_{Total} = SQ_{Trat} + SQ_{Res} \quad (1)$$

Sendo:

$SQ_{Total}$  = soma dos quadrados total

$SQ_{Trat}$  = soma dos quadrados dos tratamentos

$SQ_{Res}$  = soma de quadrados dos resíduos ou erro

A forma matricial fica descrita pela Equação 2.

$$y^T - n\bar{y}^2 = (\hat{\beta}^T X^T y - n\bar{y}^2) + y^T (I - H)y \quad (2)$$

Pode se medir a adequação global do ajuste através da Equação 3, onde é usado um modelo de comparação para  $SQ_{Res}$  com  $SQ_{Total}$  por meio da razão dos dois termos, obtendo a correlação múltipla de Pearson ( $R^2$ ), que varia entre 0 e 1 (SOUZA, 2015).

$$R^2 = \frac{SQ_{Res}}{SQ_{Total}} = \frac{\hat{\beta}^r X^T y - n\bar{y}^2}{y^t - n\bar{y}^2} \quad (3)$$

Vale ressaltar, que além da análise do resultado de  $R^2$ , buscando valores próximos de 1 como satisfatórios, deve-se atentar para o resultado de variância  $\sigma^2$ , sabendo que quanto menores, melhor são os resultados, induzindo à conclusão que há uma pequena variação de resultados dentro de cada tratamento (SOUZA, 2015).

O teste de hipótese de significância do modelo de regressão, pode ser expressado com a Equação 4, sendo  $H_0$  a hipótese nula, e  $H_1$  a hipótese alternativa (BRAVO, 2016).

$$\left. \begin{array}{l} H_0: \beta = 0 \\ H_1: \text{pelo menos um } \beta_k \neq 0 \end{array} \right\} \quad (4)$$

Para o teste das hipóteses, é estimada a variância  $\sigma^2$  por dois métodos diferentes, dependente da veracidade ou não da hipótese nula  $H_0$ , ao serem comparadas. Caso seja verdadeira a hipótese  $H_0$ , então não há diferença significativa entre os tratamentos analisados, ou seja, as duas estimativas são próximas entre si, possuindo parâmetros nulos  $\beta = 0$ , porém, se a veracidade da hipótese  $H_0$  não for comprovada, rejeita-se a hipótese nula e aceita-se a hipótese alternativa  $H_1$  ou seja, há diferença significativa entre os tratamentos, não havendo mais proximidade entre os dados, concluindo-se que pelo menos um parâmetro é não nulo  $\beta_k \neq 0$  (SOUZA, 2015).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A caracterização dos ensaios para agregados cria uma fundamentação importante quanto ao protocolo para a produção de um concreto, e o conhecimento sobre a classificação, densidade e estado de umidade são os que predestina a dosagem das misturas do concreto, já para seu estado plástico, é levado em conta a densidade, porosidade, degradação, formato e textura superficial dos materiais. Os equipamentos e materiais utilizados para realização dos ensaios foram fornecidos pelo laboratório da FACEG - Faculdade Evangélica de Goianésia.

A metodologia utilizada para a realização desse trabalho é a nível experimental e comparativa, com o presente objetivo de desenvolver traços de concreto convencionais, com o uso do pó de serragem em substituição parcial das areias naturais. Os ensaios foram separados em etapas, iniciado com a preparação do pó de serragem para que sua granulometria seja semelhante à da areia, além de análise de outros fatores importantes para incorporação de matéria prima. O próximo passo foi a estruturação do traço dos corpos de prova testemunha, bem como dos demais com substituição parcial do pó de serragem pela areia natural, para realização de ensaio de resistência a compressão.

#### 3.1 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE AMOSTRAGEM

##### 3.1.1 Análise granulométrica

O pó de serragem utilizado nos ensaios foi disponibilizado por uma empresa moveleira local da cidade de Uruaçu-Goiás, que não possui um plano de descarte para resíduos, sendo de suma importância a busca por meios de reutilização de tais resíduos.

O material passou, no laboratório de materiais da Faculdade Evangélica de Goianésia (FACEG), utilizando o conjunto para peneiramento as amostras foram ensaiadas para que sua dimensão fosse reduzida, sendo classificada com agregado miúdo (Figura 3). Após esse processo, o material peneirado seguiu os critérios das normas NBR NM 248/2003 (Agregados - Determinação da composição granulométrica) e NBR 7211/2019 (Agregados para concreto - Especificação). A repetição foi contínua até a obtenção necessária do material para os ensaios.

**Figura 3** – Processo de peneiramento do material que substituirá em porcentagem a areia.



Fonte: Autoras, 2022.

Ao decorrer do processo com todos os materiais pesados, foi obtido os seguintes resultados retratados na Tabela 1.

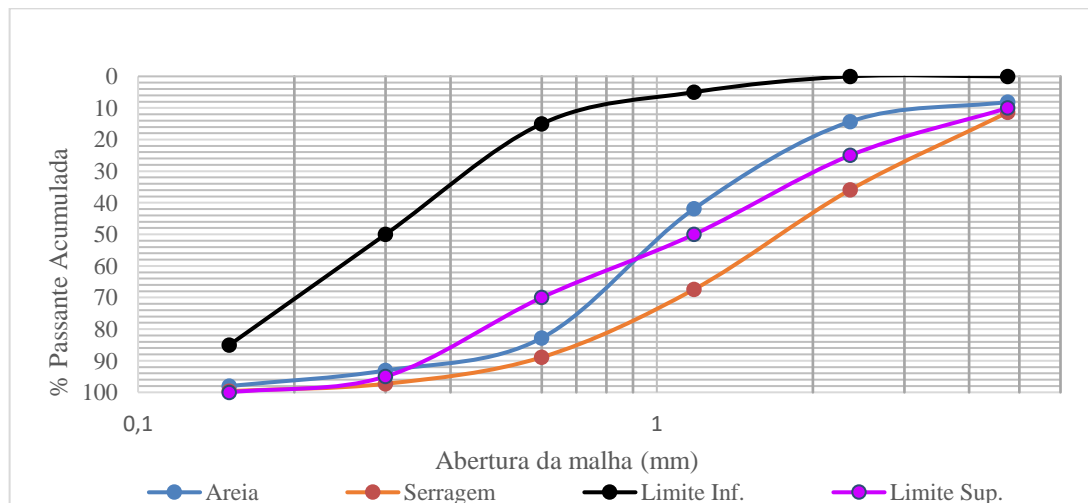
**Tabela 1** - Porcentagem de massa retida acumulada

Material	Porcentagem retida acumulada (%)						
	Peneira com abertura de malha						
	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15	Fundo
Areia	8,1	14,3	41,9	82,8	93,1	98,0	100
Serragem	11,4	35,9	67,4	88,9	97,3	99,6	100

Fonte: Autores (2022)

A partir dos dados apresentados na Tabela 1, foi elaborado as curvas granulométricas, apresentada na Figura 4. Mediante os dados, os módulos de finura obtidos para a areia e o pó de serragem foram de 3,4 e 4,0 respectivamente.

**Figura 4** - Curva granulométrica



Fonte: Autores (2022)



O pó de serragem obtido para os ensaios apresentou granulometria superior ao definido como limite superior para agregados miúdos, porém possui dimensões onde caracterizam como tal. Para uma relação mais próxima entre a areia e a serragem, foi utilizada uma areia grossa com módulo de finura próximo do limite superior definido pela NBR 7211 (ABNT, 2009).

## 3.2. PROCEDIMENTO DE ENSAIO

### 3.2.1 Definição dos valores para a massa unitária e massa específica dos agregados

A massa unitária de um agregado é determinada pela razão entre a massa de uma amostra do agregado e seu volume aparente, ou seja, incluso os vazios entre os grãos, e normalmente representado pela letra “d”. O método utilizado para a realização deste ensaio foi a NBR 16972 (ABNT, 2021) – Agregados - Determinação da Massa Unitária e do índice de Vazios.

A massa específica de um agregado é determinação da razão entre a massa de uma amostra do agregado e seu volume real, que é adquirida pela massa unitária solta representada pela letra grega “μ”.

#### 3.2.1.1 Massa unitária e massa específica do agregado miúdo - areia

Após a separação dos materiais a serem ensaiados, foi necessário quantificar sua massa para que haja uma dosagem correta no traço para o concreto. Em um recipiente com capacidade de 1 dm<sup>3</sup> foi adicionada uma amostra de areia até altura da borda de forma que fique com os grãos soltos, e logo o recipiente foi levado a balança com o seu valor inicial já tarado, para que possa ser verificado a massa da areia, como mostra a Figura 5.

**Figura 5** – Recipiente com amostra do agregado miúdo solto.



Fonte: Autoras, 2022.

A massa existente ocupa um volume (aparente) de 1dm<sup>3</sup> no qual sua massa foi representada pela Equação 5:

$$d = \frac{M}{V_p} \quad (5)$$

$$d = \frac{1,169}{1}$$

$$d = 1,169 \frac{kg}{dm^3}$$

Onde:

$d$  = massa unitária (kg/dm<sup>3</sup>)

$M$  = massa do agregado miúdo solto (kg)

$V_p$  = Volume aparente (dm<sup>3</sup>)

A massa específica de um agregado foi obtida pela razão entre uma amostra do agregado miúdo e seu volume real, para ser ensaiada essa amostra foi necessário um Becker de 2000 ml no qual foi adicionado água até a marcação de 1000 ml e o agregado solto inserido logo após. O valor do volume real obtido foi de 490ml, de acordo com esse valor pode-se resumidamente representar a massa específica com a Equação 6:

$$\mu = \frac{M}{V_r} \quad (6)$$

$$\mu = \frac{1169}{490}$$

$$\mu = 2,386 \frac{kg}{dm^3}$$

Onde:

$\mu$  = massa específica (kg/dm<sup>3</sup>)

$M$  = massa do agregado miúdo solto - areia (kg)

$V_r$  = Volume real (dm<sup>3</sup>)

### 3.2.1.2 Massa unitária e massa específica do agregado graúdo

O procedimento para definir a massa unitária e massa específica do agregado graúdo segue os mesmos parâmetros, em um recipiente de 1dm<sup>3</sup> é depositado a amostra até a altura da

superfície, de forma que fique solto, sendo pesado logo em seguida. Na Figura 6 é possível verificar o valor obtido:

**Figura 6** – Recipiente com amostra do agregado graúdo solto.



Fonte: Autoras, 2022.

A massa existente ocupa um volume (aparente) de 1dm<sup>3</sup> no qual sua massa foi representada utilizando a Equação 5 descrita anteriormente:

$$d = \frac{M}{V_p} \quad (5)$$

$$d = \frac{1,477}{1}$$

$$d = 1,477 \frac{kg}{dm^3}$$

Onde:

$d$  = massa unitária (kg/dm<sup>3</sup>)

$M$  = massa do agregado graúdo solto (kg)

$V_p$  = Volume aparente (dm<sup>3</sup>)

A definição do agregado graúdo na forma compactada é indispensável, sendo assim no mesmo recipiente de 1dm<sup>3</sup> foi colocado um terço da amostra ao qual é realizado um adensamento com 25 golpes conforme a NBR 16972 (ABNT, 2021) obtendo assim o valor de 1,652 kg como mostrado na Figura 7.

**Figura 7** – Recipiente com amostra do agregado gráúdo solto compactado.



Fonte: Autoras, 2022.

Utilizando a Equação 5, porém com a massa compactada, tem-se os seguintes resultados.

$$d = \frac{M}{V_p} \quad (5)$$

$$d = \frac{1,652}{1}$$

$$d = 1,652 \frac{kg}{dm^3}$$

Onde:

$d$  = massa unitária (kg/dm<sup>3</sup>)

$M$  = massa do agregado gráúdo compactado (kg)

$V_p$  = Volume aparente (dm<sup>3</sup>)

A massa específica do agregado gráúdo é definida por:

$$\mu = \frac{M}{V_r} \quad (6)$$

$$\mu = \frac{1477}{550}$$

$$\mu = 2,685 \frac{kg}{dm^3}$$

Onde:

$\mu$  = massa específica (kg/dm<sup>3</sup>)

$M$  = massa do agregado gráúdo solto (kg)

$V_r$  = Volume real (dm<sup>3</sup>)

### 3.2.2 Definição do traço

Para a determinação do traço o fator mais importante é a relação a/c, que tem seu embasamento nos critérios de durabilidade e de resistência mecânica. De acordo com a norma NBR 6118 para os parâmetros de durabilidade as orientações a serem seguidas consideram as várias classes de agressividade e níveis máximos (ABNT, 2014).

A determinação do traço para ser definido passa por um processo de teste e passo a passo para que seja incluída as devidas características de cada material. Segundo o procedimento de Malta (2012), necessita de um conhecimento prévio de alguns parâmetros como descrito na Tabela 2.

**Tabela 2** – Unidades de medidas adotadas sobre os materiais para o cálculo de dosagem

Valores necessários para dosagem do concreto		
Resistência a compressão do concreto com 28 dias	25	MPa
Cimento	CP II Z - 32	
Diâmetro máximo do agregado graúdo	12,5	mm
Módulo de finura do agregado miúdo – areia	3,4	
Módulo de finura do agregado miúdo – serragem	4,0	
Massa unitária do agregado miúdo – areia	1,169	kg/dm <sup>3</sup>
Massa específica do agregado miúdo – areia	2,386	kg/dm <sup>3</sup>
Massa unitária solta do agregado graúdo	1,477	kg/dm <sup>3</sup>
Massa unitária compactada do agregado graúdo	1,652	kg/dm <sup>3</sup>
Massa específica do agregado graúdo	2,685	kg/dm <sup>3</sup>
Massa específica do cimento	3,100	kg/dm <sup>3</sup>
Massa unitária do agregado miúdo - serragem	0,164	kg/dm <sup>3</sup>
Massa específica do agregado miúdo - serragem	0,500	kg/dm <sup>3</sup>

Fonte: Autores, 2022.

A massa específica da madeira foi definida em 0,5 kg/dm<sup>3</sup>, conforme descrito por Pfeil (2003), sabendo que a serragem utilizada advém de um conjunto de madeiras, com predominância do cedro.

O consumo de água do traço é o segundo valor a ser encontrado, dando seguimento ao procedimento que é obtido pela relação entre o diâmetro máximo do agregado graúdo e o abatimento do tronco de cone.

O cálculo do consumo do agregado graúdo é o terceiro valor a ser determinado, no qual é utilizado a Equação 7:

$$\begin{aligned} C_b &= Vb * muc \\ C_b &= 0,514 * 1,652 \\ C_b &= 0,849 \end{aligned} \quad (7)$$

Onde:

$C_b$  = Consumo de Brita

$Vb$  = Volume da brita

$Muc$  = Massa unitária compactada do agregado graúdo

Agora o valor necessário a ser encontrado é o consumo de cimento, dado como o quarto passo do procedimento para a obtenção do traço seguindo a Equação 8:

$$C_c = \frac{Ca}{a/c} = \frac{0,222}{0,46} = 0,482 \quad (8)$$

Onde:

$C_c$  = Consumo de Cimento

$Ca$  = Consumo de água

$a/c$  = Fator água /cimento

O volume da areia é o quinto passo, e é obtido com a Equação 9:

$$\begin{aligned} Va &= 1 - \left( \frac{Cc}{yc} + \frac{Cb}{yb} + \frac{Ca}{ya} \right) \\ Va &= 1 - \left( \frac{0,482}{3,1} + \frac{0,849}{2,685} + \frac{0,222}{1,0} \right) \\ Va &= 0,307 \end{aligned} \quad (9)$$

A determinação do consumo de areia é definida com a Equação 10, e seguindo o roteiro, é o sexto passo para a definição do traço:

$$\begin{aligned} C_{ar} &= Va * ya \\ C_{ar} &= 0,307 * 2,386 \\ C_{ar} &= 0,732 \end{aligned} \quad (10)$$

Apresentação final do traço é definido com os seguintes valores:

Cimento: Areia: Brita: Água/Cimento

**1: 1, 52: 1, 76: 0, 46**

Após a definição do traço, a Tabela 3 relaciona as quantidades de materiais utilizadas e as porcentagens subtraídas de areia, em massa.

**Tabela 3** – Unidades de medidas adotadas sobre os materiais para o cálculo de dosagem

<b>Substituição (%)</b>	<b>Areia (Kg)</b>	<b>Brita (Kg)</b>	<b>Cimento (Kg)</b>	<b>Madeira (Kg)</b>	<b>Água (l)</b>
0	14,64	17,80	9,56	0	4,44
2	14,34	17,80	9,56	0,292	4,44
4	14,05	17,80	9,56	0,585	4,44
6	13,76	17,80	9,56	0,878	4,44

Fonte: Autores, 2022.

### 3.2.3 Análise estatística dos tratamentos

Para essa etapa, foi usado um parâmetro com os níveis de porcentagem a serem substituídos a cada traço realizado no ensaio, em um sistema fatorial 4x2, sendo 4 dosagens distintas de substituição em massa de areia natural por pó de serragem (0, 2, 4, e 6%), e dois tempos (14 e 28 dias) após a moldagem dos corpos de prova (Tabela 4).

**Tabela 4** - Tratamentos para a produção dos corpos de prova de concreto

<b>Tratamento</b>	<b>Composição</b>	<b>Idade</b>
T0-14	100% Areia Natural + 0% Pó de Serragem	14 dias
T2-14	98% Areia Natural + 2% Pó de Serragem	14 dias
T4-14	96% Areia Natural + 4% Pó de Serragem	14 dias
T6-14	94% Areia Natural + 6% Pó de Serragem	14 dias
T0-28	100% Areia Natural + 0% Pó de Serragem	28 dias
T2-28	98% Areia Natural + 2% Pó de Serragem	28 dias
T4-28	96% Areia Natural + 4% Pó de Serragem	28 dias
T6-28	94% Areia Natural + 6% Pó de Serragem	28 dias

Fonte: Autores, 2022.

Devido a diferença significativa entre a massa específica da areia e da serragem, a variação de 2% de massa entre os tratamentos implica em uma variação próxima de 9% no volume dos materiais entre os mesmos tratamentos.

Os dados foram submetidos à análise estatística pela análise de variância (ANOVA), comparativo de média pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e à análise de regressão quando significativo. Foi utilizado o software SISVAR 5.6 para análise estatística, com variáveis resposta referente ao peso do corpo de prova e resistência à compressão, em desdobramento da soma dos quadrados da interação (tempo x doses de agregado miúdo) para a resistência à compressão, para verificação da significância (FERREIRA, 2014).

### 3.2.4 Realização do teste de consistência do concreto

Indispensável para a moldagem dos corpos de provas, a realização desse teste foi para identificação da consistência do concreto, que consiste em coletar uma amostra desse concreto, colocá-lo na fôrma do tipo tronco de cone e realizar o adensamento, medindo a amplitude do abatimento, assim como descrito na norma NBR 16889 - Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (ABNT, 2020).

Para todas as dosagens foram realizados o teste de consistência do concreto como relatado na Figura 8.

**Figura 8** – Abatimento para teste de consistência do concreto.



Fonte: Autoras, 2022.



### 3.2.5 Moldagem dos corpos de provas

Nesse procedimento foram utilizadas formas cilíndricas para conter o concreto em seu interior com 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura, com o intuito de que não haja deformação do produto, sendo feito de acordo com a norma NBR 5738 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova (ABNT, 2015).

Antes mesmo de dar início a fabricação do concreto, os cilindros são vistoriados quanto sua estrutura física, e realizado a passagem do desmoldante para que após a secagem do concreto, não haja dificuldade para desmolde dos corpos de provas, evitando geração de impacto. A Figura 9 exemplifica o tratamento inicial dos cilindros para moldagem.

**Figura 9** – Tratamento dos cilindros para serem submetidos a moldagem.



Fonte: Autoras, 2022.

Com o concreto pronto após ter sido processado na betoneira, a mistura foi submetida ao *Slump test* e transferida para os moldes, com uma haste ao transferir a mistura foi dado 25 golpes de forma distribuída com objetivo de que os índices de vazios sejam reduzidos, e a massa tenha mais resistência ao ensaio mecânico de compressão.

Já desinformados, os corpos de provas foram pesados, para que fosse comparada a diferença de peso entre os tratamentos estudados (Figura 10).

**Figura 10** – Pesagem do corpo de provas depois de fazer a desforma.



Fonte: Autoras, 2022.

### 3.2.6 Determinação da resistência a compressão

Caracterizada como uma propriedade mecânica, a resistência é adquirida pela capacidade do material suportar cargas sem que tenha deformações abruptas ou rupturas, sua análise pode ser realizada através de métodos experimentais como por exemplo o ensaio de tração e compressão. É possível ser calculado os valores de tensão e deformação relacionados aos corpos de provas, expressados em gráficos e curva resultante denominada de diagrama tensão/deformação, onde possibilita a determinação do material em dúctil ou frágil (HIBBELER, 2010).

Os corpos de prova foram ensaiados aos 14 e 28 dias da moldagem, no laboratório de Materiais de Construção da empresa Intinera construções na cidade de Uruaçu-GO. A NBR 5739 (ABNT, 2018) determina as características do ensaio da resistência a compressão, os resultados são através do uso da prensa, maquinário no qual é destinado a ensaiar os corpos de prova como as peças que recebem a carga. Quanto a determinação da resistência à compressão, tem-se a Equação 11:

$$f_c = \frac{4F}{\pi \cdot D^2} \quad (11)$$

Onde é definido:

$f_c$ : Resistência à compressão (MPa);

$F$ : Força máxima (N);

$D$ : Diâmetro do corpo de prova (mm).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. AVALIAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA

Após a moldagem dos corpos de provas, foi esperado a cura do concreto para iniciar o processo de desforma, os 32 corpos de provas foram pesados para que fosse verificado se a massa sofreu alguma mudança do traço referência em relação aos que tiveram as substituições realizadas. A Tabela 5 apresenta os resultados da massa de cada tratamento.

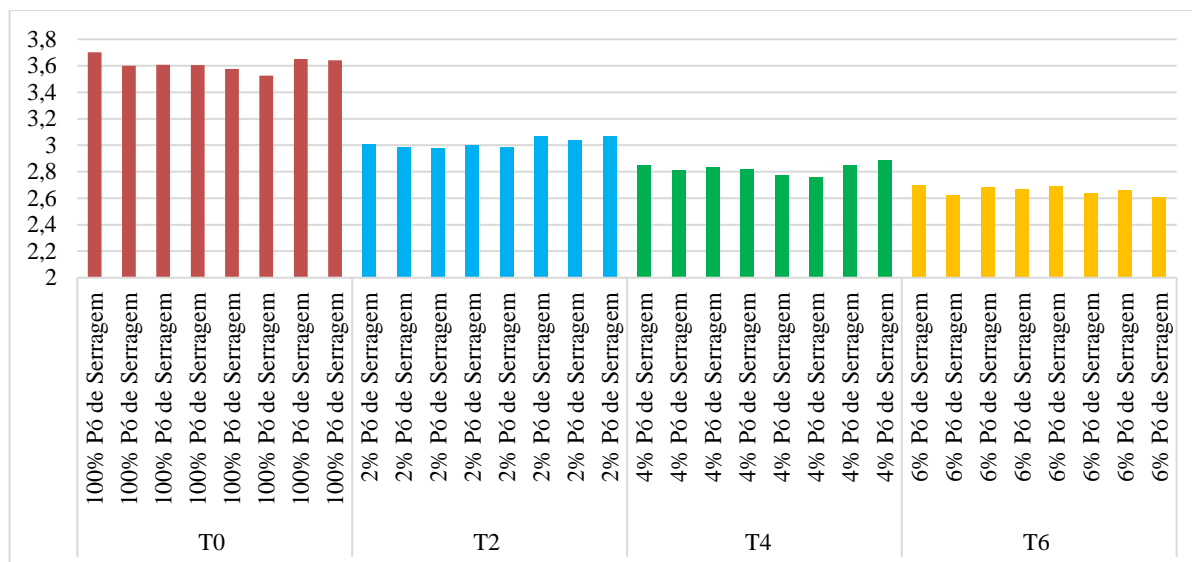
**Tabela 5** – Comparação da massa dos tratamentos estudados.

Tratamento	Composição	Massa no estado seco (kg)	Média por tratamento (kg)	
T0 – 14	0% Areia Natural + 100% Pó de Serragem	3,702	3,61	
	0% Areia Natural + 100% Pó de Serragem	3,600		
	0% Areia Natural + 100% Pó de Serragem	3,608		
	0% Areia Natural + 100% Pó de Serragem	3,604		
T0 – 28	0% Areia Natural + 100% Pó de Serragem	3,577		
	0% Areia Natural + 100% Pó de Serragem	3,526		
	0% Areia Natural + 100% Pó de Serragem	3,651		
	0% Areia Natural + 100% Pó de Serragem	3,642		
T2 – 14	98% Areia Natural + 2% Pó de Serragem	3,009		3,02
	98% Areia Natural + 2% Pó de Serragem	2,987		
	98% Areia Natural + 2% Pó de Serragem	2,981		
	98% Areia Natural + 2% Pó de Serragem	3,001		
T2 – 28	98% Areia Natural + 2% Pó de Serragem	2,988		
	98% Areia Natural + 2% Pó de Serragem	3,071		
	98% Areia Natural + 2% Pó de Serragem	3,037		
	98% Areia Natural + 2% Pó de Serragem	3,071		
T4 – 14	96% Areia Natural + 4% Pó de Serragem	2,850	2,82	
	96% Areia Natural + 4% Pó de Serragem	2,808		
	96% Areia Natural + 4% Pó de Serragem	2,832		
	96% Areia Natural + 4% Pó de Serragem	2,819		
T4 – 28	96% Areia Natural + 4% Pó de Serragem	2,777		
	96% Areia Natural + 4% Pó de Serragem	2,762		
	96% Areia Natural + 4% Pó de Serragem	2,846		
	96% Areia Natural + 4% Pó de Serragem	2,884		
T6 – 14	94% Areia Natural + 6% Pó de Serragem	2,699		2,66
	94% Areia Natural + 6% Pó de Serragem	2,620		
	94% Areia Natural + 6% Pó de Serragem	2,682		
	94% Areia Natural + 6% Pó de Serragem	2,666		
T6 – 28	94% Areia Natural + 6% Pó de Serragem	2,690		
	94% Areia Natural + 6% Pó de Serragem	2,638		
	94% Areia Natural + 6% Pó de Serragem	2,657		
	94% Areia Natural + 6% Pó de Serragem	2,610		

Fonte: Autoras, 2022.

A Figura 11 é a representação dos valores adquiridos com a pesagem dos corpos de provas após a desforma dos 32 corpos de provas moldados.

**Figura 11** – Representação dos valores adquiridos com a pesagem



Fonte: Autoras, 2022.

Analisando os resultados médios entre os tratamentos, o tratamento T0 (0% de pó de serragem em massa) apresenta os resultados com maior massa do corpo de prova, enquanto T6 (6% de pó de serragem em massa) apresenta as menores massas entre os tratamentos analisados, com redução em massa de aproximadamente 26%.

O valor da porcentagem foi subtraído da massa do agregado miúdo levando em consideração a tese de alguns autores que apresentou os resultados comparando com o valor dado em volume. Segundo Ângelo e Nascente Filho (2018), em seus estudos a substituição realizada em cima do valor na massa teve uma redução de 1/5,6 vezes no peso em relação a areia fina tirada de cada traço, ou seja, uma redução de 82,27 % da massa em relação a areia, isso é devido a diferença da densidade da fibra em relação a areia.

Motta e Agopyan (2007), cita o baixo peso específico, ductilidade, existência em abundância dos materiais descartados e ampara os resultados reportados por Ângelo e Nascente Filho (2018), novamente que descreve as médias das massas, para o traço com 15% ( $\rho = 2.266 \text{ kg/m}^3$ ) e 25% ( $\rho = 2.179 \text{ kg/m}^3$ ) de pó-de-serra de em relação ao traço referência, sem pó-de-serra ( $\rho = 2.355 \text{ kg/m}^3$ ), houve uma redução no peso específico de 3,78% e 7,46%, promovendo uma redução no peso de  $89,08 \text{ kg/m}^3$  e  $175,77 \text{ kg/m}^3$  (ANGELO E NASCENTE FILHO, 2018). A Redução de massa foi dada devido a massa específica da madeira ter um percentual pequeno.

## 4.2. AVALIAÇÃO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

O rompimento dos corpos de prova foi definido aos 14 dias e 28 dias a partir da moldagem dos mesmos, analisando os resultados da resistência à compressão do concreto. A Figura 12 apresenta os corpos de prova rompidos em prensa hidráulica.

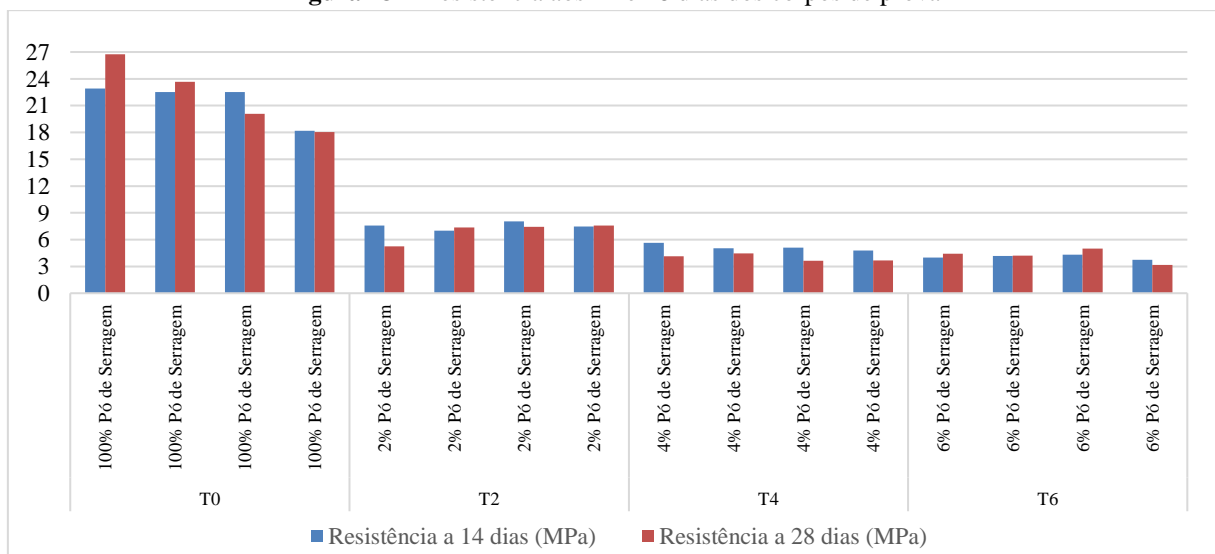
**Figura 12** – Corpos de prova sendo rompidos em idade de 14 dias



Fonte: Autoras, 2022.

A resistência mecânica média para cada tratamento, à compressão, dos corpos de prova está especificada na Tabela 6, bem como sintetizado na Figura 13. O tratamento T0, tanto para 14, quanto para 28 dias, obteve a maior resistência média à compressão, enquanto que os tratamentos T2, T4 e T6, seja para 14 ou 28 dias, obtiveram resistências relativamente baixa ao comparado com o traço de referência. Autores como Garcez, Santos e Gatto (2013) também obtiveram resultados similares, ou seja, a resistência reduz à medida que é acrescentado pó de serragem na substituição à areia natural.

**Figura 13** – Resistência aos 14 e 28 dias dos corpos de prova



Fonte: Autoras, 2022.

**Tabela 6** – Resistência à compressão dos tratamentos estudados.

<b>Tratamento</b>	<b>Composição</b>	<b>Resistência a 14 e 28 dias (MPa)</b>	<b>Média – resistência (MPa)</b>
T0-14	0% Areia Natural + 100% Pó de Serragem	22,91	21,52
	0% Areia Natural + 100% Pó de Serragem	22,50	
	0% Areia Natural + 100% Pó de Serragem	22,50	
	0% Areia Natural + 100% Pó de Serragem	18,18	
T2-14	98% Areia Natural + 2% Pó de Serragem	7,56	7,52
	98% Areia Natural + 2% Pó de Serragem	7,00	
	98% Areia Natural + 2% Pó de Serragem	8,05	
	98% Areia Natural + 2% Pó de Serragem	7,47	
T4-14	96% Areia Natural + 4% Pó de Serragem	5,63	5,14
	96% Areia Natural + 4% Pó de Serragem	5,02	
	96% Areia Natural + 4% Pó de Serragem	5,12	
	96% Areia Natural + 4% Pó de Serragem	4,79	
T6-14	94% Areia Natural + 6% Pó de Serragem	4,01	4,06
	94% Areia Natural + 6% Pó de Serragem	4,18	
	94% Areia Natural + 6% Pó de Serragem	4,32	
	94% Areia Natural + 6% Pó de Serragem	3,74	
T0-28	0% Areia Natural + 100% Pó de Serragem	26,75	22,13
	0% Areia Natural + 100% Pó de Serragem	23,66	
	0% Areia Natural + 100% Pó de Serragem	20,08	
	0% Areia Natural + 100% Pó de Serragem	18,04	
T2-28	98% Areia Natural + 2% Pó de Serragem	5,23	6,89
	98% Areia Natural + 2% Pó de Serragem	7,35	
	98% Areia Natural + 2% Pó de Serragem	7,42	
	98% Areia Natural + 2% Pó de Serragem	7,57	
T4-28	96% Areia Natural + 4% Pó de Serragem	4,15	3,98
	96% Areia Natural + 4% Pó de Serragem	4,46	
	96% Areia Natural + 4% Pó de Serragem	3,65	
	96% Areia Natural + 4% Pó de Serragem	3,66	
T6-28	94% Areia Natural + 6% Pó de Serragem	4,44	4,20
	94% Areia Natural + 6% Pó de Serragem	4,20	
	94% Areia Natural + 6% Pó de Serragem	4,98	
	94% Areia Natural + 6% Pó de Serragem	3,16	

Fonte: Autoras, 2022.

Os dados encontrados equivalem aos valores encontrados com a pesquisa realizada por Garcez, Santos e Gatto (2013), a qual ele explica que o aumento do percentual de substituição da areia por serragem ocasiona redução na resistência do concreto, ou seja, os traços com substituição de agregado miúdo natural possuem resistência inferior ao traço de referência. Por outro lado, foi observada que as peças ficaram mais leves

A densidade das fibras é bem inferior à da areia e é possível verificar que com o aumento do teor de substituição de areia por serragem, o concreto fica cada vez mais fluido e que se houver por exemplo uma substituição de cimento por 10% de sílica, ajudaria na redução da

fluidez para os traços equivalentes. Isso ocorre porque a cada elevação do teor de serragem aumenta-se o teor de elementos organometálicos resultantes, funcionando como um retardador natural de pega (MASSAROTTO, JÚNIOR e DALOSTO, 2019).

### 4.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados apresentados para as variáveis: peso do corpo de prova e resistência à compressão, atendem aos requisitos básicos de homogeneidade e normalidade, o que valida os dados para a análise de variância sem transformação dos mesmos. As análises estatísticas propostas nesse trabalho foram: ANOVA (análise de variância), teste de média Tukey e análise de regressão.

#### 4.3.1 Análise estatística para a variável massa dos corpos de prova

##### 4.3.1.1 Análise de variância (ANOVA)

A análise de variância é essencial para determinação das hipóteses do estudo como a Tabela 7 apresenta o resultado da ANOVA dos dados dos tratamentos na variável peso dos corpos de prova.

**Tabela 7 - Análise de Variância para massa dos corpos de prova**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>P-Value</b>
<b>Tratamentos</b>	3	4,1809	1,3937	820,701	0,000*
<b>Desvio</b>	28	0,0475	0,0017		
<b>Total</b>	31	4,2285			
<b>CV (%) =</b>	1,36				
<b>Média geral:</b>	3,028	Número de observações: 32			

\*Significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade. FV = Fontes de Variação, GL = Graus de Liberdade, SQ = Soma dos Quadrados, QM = Quadrado Médio, CV = Coeficiente de Variação em %.  
Fonte: Autores (2022)

Analisando a Tabela 7, nota-se que o valor de *P-Value* foi inferior a 0,05 (5%) de probabilidade, o que representa haver diferença significativa entre os tratamentos, ou seja, a hipótese nula  $H_0$  é rejeitada, sendo necessário uma análise de comparativo de média ou regressão para determinar quais tratamentos se diferem entre si, destacando-se aqueles com melhores resultados.



#### 4.3.1.2 Comparativo de média – Teste de Tukey

Após verificar que há diferença significativa entre os tratamentos, é necessário a utilização de um teste de comparativo de média para definir quais tratamentos se diferem ou não entre si. O teste de Tukey foi utilizado, obtendo os dados apresentados na Tabela 8.

**Tabela 8** - Resumo do Teste Tukey a 5% de probabilidade para massa dos corpos de prova em (g)

<b>Tratamentos</b>	<b>Média</b>
T0	3,614 a
T2	3,018 b
T4	2,822 c
T6	2,658 d

Médias seguidas de mesma letra não apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.  
Fonte: Autores (2022)

A Tabela 8 descreve que há diferença significativa entre os tratamentos, sendo que o teste de Tukey mostrou que a maior média de massa é apresentado pelo tratamento T0, sem adição de pó de serragem, e que quanto maior a adição de pó de serragem, menores são as médias das massas do concreto, havendo diferença significativa a 5% de probabilidade entre todos os tratamentos analisados.

Trabalho como o de Motta e Agopyan (2007) e Garcez, Santos e Gatto (2013), também corroboram com tais resultados, além da comprovação do peso específico do concreto convencional simples com valor de 2301 kg/m<sup>2</sup>, próximo dos 2400 kg/m<sup>3</sup> definidos na NBR 6118 (ABNT, 2014).

A análise de regressão é apresentada na Tabela 9, tendo resultado satisfatório para as três regressões analisadas (*p-value* menor que 0,05) sendo elas: linear, quadrática e cúbica

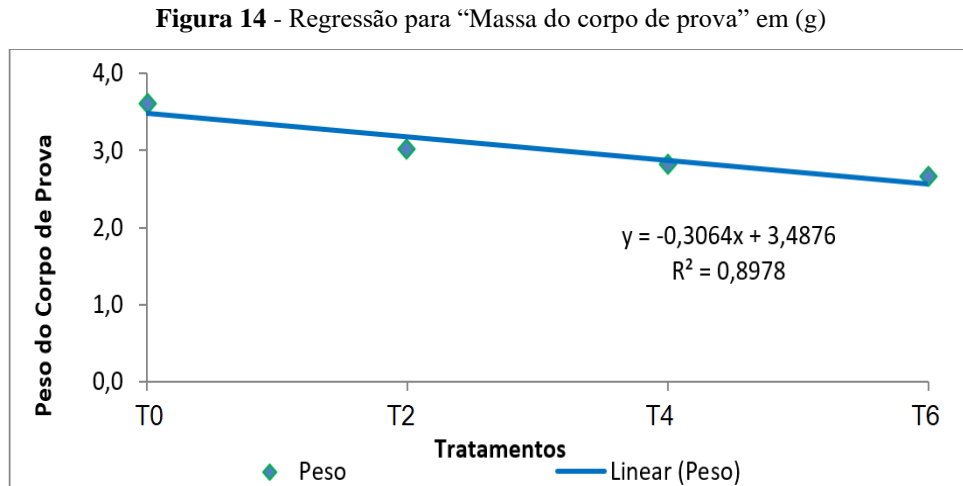
**Tabela 9** - Análise de Regressão para variável “Massa do corpo de prova”

<b>Causas de Variação</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>P-Value</b>
<b>Linear</b>	1	3,755	3,755	2211,228	0,000*
<b>Quadrática</b>	1	0,372	0,372	218,911	0,000*
<b>Cúbica</b>	1	0,054	0,054	31,965	0,000*
<b>Desvio</b>	0	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Erro</b>	28	0,048	0,0017		

\*Significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade. GL = Graus de Liberdade, SQ = Soma dos Quadrados, QM = Quadrado Médio, CV = Coeficiente de Variação em %.

Fonte: Autores (2022)

O resultado a ser considerado na análise foi a regressão linear, pois como a massa reduz à medida que aumenta o teor de serragem na mistura do concreto, a tendência linear é satisfatória, com um  $R^2$  de 89,8%. A Figura 14 apresenta a regressão linear.



Fonte: Autores (2022)

### 4.3.2 Análise estatística para a variável resistência à compressão aos 14 dias

#### 4.3.2.1 Análise de variância (ANOVA)

A análise de variância também foi definida para a variável resistência à compressão do concreto aos 14 dias de moldagem, para verificação da rejeição ou não da hipótese nula  $H_0$ .

A Tabela 10 apresenta o resultado da ANOVA dos dados dos tratamentos na variável resistência aos 14 dias dos corpos de prova.

**Tabela 10** - Análise de Variância para resistência à compressão dos corpos de prova aos 14 dias

FV	GL	SQ	QM	F	P-Value
<b>Tratamentos</b>	3	788,088	262,696	195,456	0,000*
<b>Desvio</b>	12	16,128	1,344		
<b>Total</b>	15	804,216			
<b>CV (%) =</b>	12,13				
<b>Média geral:</b>	9,561	Número de observações: 16			

\*Significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade. FV = Fontes de Variação, GL = Graus de Liberdade, SQ = Soma dos Quadrados, QM = Quadrado Médio, CV = Coeficiente de Variação em %.

Fonte: Autores (2022)

Analisando a Tabela 10, nota-se que o valor de *P-Value* foi inferior a 0,05 (5%) de probabilidade, o que representa haver diferença significativa entre os tratamentos, ou seja, a hipótese nula  $H_0$  é rejeitada, sendo necessário uma análise de comparativo de média ou regressão para determinar quais tratamentos se diferem entre si, destacando-se aqueles com melhores resultados, ou seja, com maior resistência mecânica à compressão.

#### 4.3.2.2 Comparativo de média – Teste de Tukey

Após verificar que há diferença significativa entre os tratamentos, é necessário a utilização de um teste de comparativo de média para definir quais tratamentos se diferem ou não entre si. O teste de Tukey foi utilizado, obtendo os dados apresentados na Tabela 11.

**Tabela 11** - Resumo do Teste Tukey a 5% de probabilidade para resistência à compressão aos 14 dias em (MPa)

<b>Tratamentos</b>	<b>Média</b>
T0-14	21,52 a
T2-14	7,52 b
T4-14	5,14 bc
T6-14	4,06 c

Médias seguidas de mesma letra não apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.  
Fonte: Autores (2022)

A Tabela 11 descreve que há diferença significativa entre os tratamentos, sendo que o teste de Tukey mostrou que a maior resistência é apresentada pelo tratamento T0-14, sem adição de pó de serragem, e que quanto maior a adição de pó de serragem, menores são as médias da resistência à compressão do concreto, havendo diferença significativa a 5% de probabilidade entre o tratamento T0-14 para os demais tratamentos analisados.

Trabalhos como o de Santos (2019) e Garcez, Santos e Gatto (2013), também corroboram com tais resultados, possibilitando assim reafirmar os resultados já esperados em relação a redução do valor em massa e a perda de resistência devido a densidade do concreto ser cada vez menor com o aumento das porcentagens de substituição de agregado miúdo natural por agregado oriundo da madeira.

A análise de regressão é apresentada na Tabela 12, tendo resultado satisfatório para as três regressões analisadas (*p-value* menor que 0,05) sendo elas: linear, quadrática e cúbica.

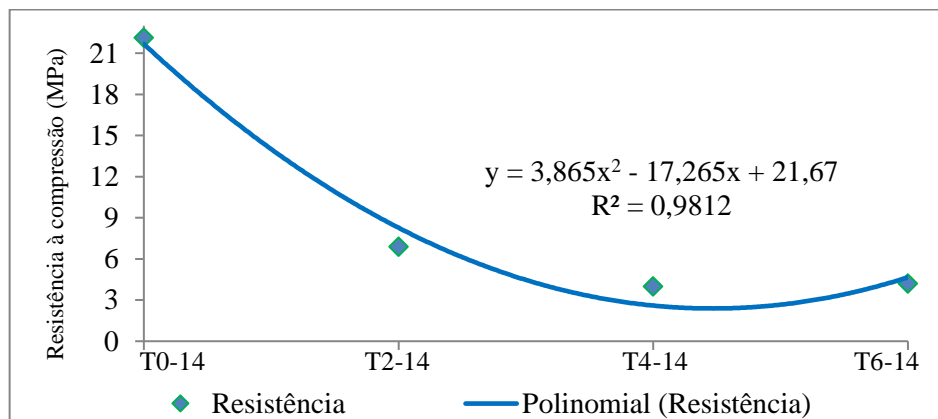
**Tabela 12** - Análise de Regressão para variável “Resistência à compressão aos 14 dias”

Causas de Variação	GL	SQ	QM	F	P-Value
<b>Linear</b>	1	599,732	599,732	446,225	0,000*
<b>Quadrática</b>	1	167,056	167,056	124,296	0,000*
<b>Cúbica</b>	1	21,300	21,300	15,848	0,002*
<b>Desvio</b>	0	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Erro</b>	12	16,128	1,344		

\*Significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade. GL = Graus de Liberdade, SQ = Soma dos Quadrados, QM = Quadrado Médio, CV = Coeficiente de Variação em %.

Fonte: Autores (2022)

O resultado a ser considerado na análise foi a regressão quadrática, apresentando um R<sup>2</sup> satisfatório de 97,3%. A Figura 15 apresenta a regressão quadrática.

**Figura 15** - Regressão para “Resistência à compressão aos 14 dias” em (MPa)

Fonte: Autores (2022)

Analisando a Figura 15, nota-se que a resistência à compressão do concreto aos 14 dias tem uma queda significativa à medida que há a adição de pó de serragem à mistura, porém à medida que essa adição aumenta, os resultados de resistência vão se estabilizando, ou seja, os resultados entre os tratamentos T2-14, T4-14 e T6-14 possuem uma proximidade maior entre si.

Para uma maior clareza, nota-se que entre o tratamento T0-14 e T2-14, houve uma redução na resistência à compressão de 65%, já na relação entre T2-14 e T4-14, essa redução foi de 32%, e na relação T4-14 e T6-14 a redução foi ainda menor, de aproximadamente 21%. Tais análises comprovam o resultado de regressão quadrática, pois a tendência é de uma estabilização de resistência a proporções maiores de pó de serragem à mistura.

### 4.3.3 Análise estatística para a variável resistência à compressão aos 28 dias

#### 4.3.3.1 Análise de variância (ANOVA)

A análise de variância também foi definida para a variável resistência à compressão do concreto aos 28 dias de moldagem, para verificação da rejeição ou não da hipótese nula  $H_0$ .

A Tabela 13 apresenta o resultado da ANOVA dos dados dos tratamentos na variável resistência aos 28 dias dos corpos de prova.

**Tabela 13** - Análise de Variância para resistência à compressão dos corpos de prova aos 28 dias

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>P-Value</b>
<b>Tratamentos</b>	3	899,330	299,777	71,171	0,000*
<b>Desvio</b>	12	50,544	4,212		
<b>Total</b>	15	804,216			
<b>CV (%) =</b>	20,07				
<b>Média geral:</b>	9,30	Número de observações: 16			

\*Significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade. FV = Fontes de Variação, GL = Graus de Liberdade, SQ = Soma dos Quadrados, QM = Quadrado Médio, CV = Coeficiente de Variação em %.

Fonte: Autores (2022)

Analisando a Tabela 13, nota-se que o valor de *P-Value* também foi inferior a 0,05 (5%) de probabilidade, o que representa haver diferença significativa entre os tratamentos a 28 dias, ou seja, a hipótese nula  $H_0$  é rejeitada, sendo necessário uma análise de comparativo de média ou regressão para determinar quais tratamentos se diferem entre si, destacando-se aqueles com melhores resultados, ou seja, com maior resistência mecânica à compressão aos 28 dias.

#### 4.3.3.2 Comparativo de média – Teste de Tukey

Identificado a diferença significativa entre os tratamentos, no que diz respeito à resistência à compressão aos 28 dias, é necessário um teste de comparativo de média para definir quais tratamentos se diferem ou não entre si, sendo utilizado o teste de Tukey, descrito na Tabela 14.

**Tabela 14** - Resumo do Teste Tukey a 5% de probabilidade para resistência à compressão aos 28 dias em (MPa)

<b>Tratamentos</b>	<b>Média</b>
T0-28	22,13 a
T2-28	6,89 b
T6-28	4,20 b
T4-28	3,98 b

Médias seguidas de mesma letra não apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.  
Fonte: Autores (2022)

A Tabela 14 descreve que houve diferença significativa em pelo menos um dos tratamentos, sendo que o teste de Tukey mostrou que a maior resistência é apresentada pelo tratamento T0-28, sem adição de pó de serragem, com resistência média a compressão de 22,13MPa. Já os traços de 2, 4 e 6% de adição de pó de serragem não apresentaram diferença significativa a 5% de probabilidade entre si, com médias de 6,89, 4,20 e 3,98MPa os traços de T2-28, T6-28 e T4-28 respectivamente.

Trabalhos como o de Santos (2019) e Garcez, Santos e Gatto (2013), corroboram com os resultados, afirmando a redução na resistência mecânica à compressão de traços com composição de pó de serragem em substituição de agregado miúdo natural como a areia.

A análise de regressão é apresentada na Tabela 15, tendo resultado satisfatório para as regressões linear e quadrática (*p-value* menor que 0,05), enquanto que a regressão cúbica não é satisfatória para explicação dos resultados.

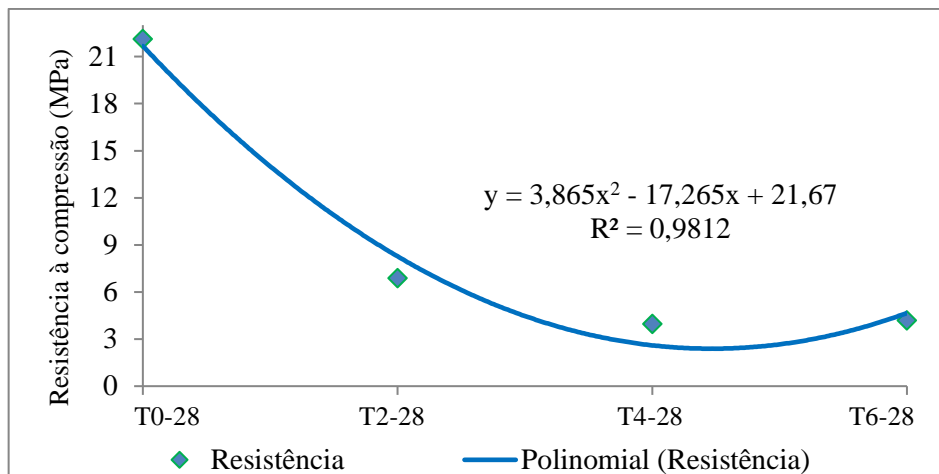
**Tabela 15** - Análise de Regressão para variável “Resistência à compressão aos 28 dias”

<b>Causas de Variação</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>P-Value</b>
<b>Linear</b>	1	643,545	643,545	152,787	0,000*
<b>Quadrática</b>	1	238,857	238,857	56,708	0,000*
<b>Cúbica</b>	1	16,928	16,928	4,019	0,068
<b>Desvio</b>	0	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Erro</b>	12	50,544	4,212		

\*Significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade. GL = Graus de Liberdade, SQ = Soma dos Quadrados, QM = Quadrado Médio, CV = Coeficiente de Variação em %.  
Fonte: Autores (2022)

O resultado a ser considerado na análise foi a regressão quadrática, apresentando um R<sup>2</sup> satisfatório de 98,12%. A Figura 16 apresenta a regressão quadrática.

**Figura 16** - Regressão para “Resistência à compressão aos 28 dias” em (MPa)



Fonte: Autores (2022)

Analisando a Figura 16, nota-se que a resistência à compressão do concreto aos 28 dias tem uma queda significativa à medida que há a adição de pó de serragem à mistura, porém à medida que essa adição aumenta, os resultados de resistência vão se estabilizando, ou seja, os resultados entre os tratamentos T2-14, T4-14 e T6-14 possuem uma proximidade maior entre si, definidos como iguais estatisticamente.

Para uma maior clareza, nota-se que entre o tratamento T0-28 e T2-28, houve uma redução na resistência à compressão de 69%, já na relação entre T2-28 e T4-28, essa redução foi de 42%, e na relação T4-28 e T6-28, houve um aumento de resistência, de aproximadamente 5% apenas. Tais análises comprovam o resultado de regressão quadrática, pois a tendência é de uma estabilização de resistência a proporções maiores de pó de serragem à mistura.

## 5 CONCLUSÕES

O presente estudo objetivou analisar os efeitos das substituições parciais de serragem em misturas para concreto onde, foi possível comprovar que devido a baixa densidade das fibras da madeira em comparação à areia natural, as substituições das massas realizadas nesses estudo nos valores resultantes das massas, ao terminar o tempo de cura dos corpos de provas, apresentaram redução significativa da massa entre o traço T0 e os demais traços com substituição, chegando a uma redução de 26% com substituição de 6% de massa de areia por serragem (T6).

Já para o ensaio a compressão aos 14 e 28 dias de moldagem dos corpos de prova, verifica-se que quanto maior a adição de serragem, menor a resistência à compressão do concreto. Para que fosse possível o aumento da resistência, seria necessário a complementação com um material que interrompesse o processo de fluidez que os materiais orgânicos tem como característica e o deixasse mais incorporado e sua massa específica aumentada.

Mediante os resultados de resistência a compressão, não é viável realizar a substituição da areia por pó de serragem na quantidade estudada para concreto estrutural devido a sua resistência exigida por norma, embora a redução na densidade do concreto induz a utilização como concreto leve em situação que não são exigidas grandes resistências mecânicas. Estudos mais aprofundados são necessários, levando em consideração mais parâmetros, além de adição de novos componentes, principalmente para sua utilização para outros tipos de elementos na construção civil.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697. Cimento Portland – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2018.

\_\_\_\_\_. **NBR 7190. Projeto em estrutura de madeira**. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211. Agregados para concreto – Especificações**. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 16097. Solo - Determinação do teor de umidade - Métodos expeditos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR 16972. Agregados - Determinação da massa unitária e índices de vazios**. Rio de Janeiro, 2021.

\_\_\_\_\_. **NBR 5738. Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 6118. Projeto de estruturas de concreto - Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739. Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

\_\_\_\_\_. **NBR 10004. Resíduos Sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 12655. Concreto de Cimento Portland – Preparo, controle recebimento e aceitação - procedimento**. Rio de Janeiro, 2022.

\_\_\_\_\_. **NBR 15316-2. Painéis de fibras de média densidade – Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2019.

\_\_\_\_\_. **NBR 16889. Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 2020.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248/2003. Agregados- Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2003.

ARAÚJO, Ronaldo Sérgio. **Concreto armado na prática.** 340p. Livro desenvolvido pela Universidade do Maranhão, São Luís, 2008.

ÂNGELO, Francisco Almeida; NASCENTE FILHO, Orli. **Uso do pó-de-serra de eucalyptus spp em matriz de concreto para construção civil.** Revista PINDORAMA, v. 7, n. 07, p. 9-9, 2018.

BRAVO, D.F. **Delineamento de experimento aplicado ao processamento da cerâmica zircônia estabilizada com ítria via sinterização por corrente elétrica pulsada.** 106p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

DANTAS FILHO, Flavio pedrosa. **Contribuição ao estudo para aplicação do pó de serra da madeira em elementos de alvenaria não estrutural.** 136p. Dissertação de Mestrado Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

FAGUNDES, Hilton Albana. **Produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no rio grande do sul.** PPGE/UFRGS - RS, Porto Alegre, 2003. 173p.

FARIAS, Bruno Serviliano Santos et al. **Comparativo de impactos ambientais entre produtos provenientes da madeira para projetos de mobiliário.** Blucher Design Proceedings, v. 2, n. 9, p. 4143-4154, 2016.

FAOSTAT: **forestry production and trade.** 2017. Disponível em:  
<http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO/visualize>. Acesso em: 18 mar. 2022.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e agrotecnologia.** Lavras, v.38, n.2, p.109-112, 2014.

GARCEZ, Mônica Regina. **Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos pré-moldados com adição de serragem em substituição ao agregado miúdo.** Revista ciências & engenharia, v22, p95, 2013.

GUL, W. KHAN, A. SHAKOOR, A, “**Melhorando as propriedades físicas e mecânicas do painel de fibra de média densidade**”, em *Anais da 4ª Conferência Internacional sobre Ciência e Engenharia Aeroespacial (ICASE '15)*, pp. 57–62, Islamabad , Paquistão, setembro de 2015.

HELENE, Paulo. **Concreto sustentável.** Ideia Sustentável, 2012.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos materiais.** São Paulo: Pearson Educación, 2010.

HILLIG, E. et al. **Resíduos de madeira da indústria madeireira – caracterização e aproveitamento.** ENEGEP-CE, Fortaleza, 2006.

IBA - **Indústria Brasileira de Árvores** (2019). Relatório IBA. São Paulo. 2019.

IBAMA, **Comunicado as empresas do setor madeireiro e demais atividades relacionadas ao consumo de madeira.** Instituto Brasileiro de meio Ambiente e dos Recursos naturais Renováveis, 2019.

LOPES, David Paulo. **Sistema De Classificação De Fibras No Processo Produtivo De Mdf.** Centro Universitário Unifacvest, Paraná, 2018.

MAROZZI, C. R. B. **Caracterização de Resíduos Agroindustriais e Florestas Visando a Briquetagem.** Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Industrial Madeireiro) – Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2012.

MALTA, J. O. **Dosagem de Concretos produzidos com agregado miúdo reciclado de resíduo de construção e demolição.** 2012. 192f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.

MASSAROTTO, Lucas Vinicius; JÚNIOR, Alex Neves; DALOSTO, João Augusto Dunck. **Caracterização mecânica e reológica de concretos com resíduos de madeira e sílica ativa.** *E&S Engineering and Science*, v. 8, n. 2, p. 15-24, 2019.

MENINO, M. **Como identificar madeira de Lei – Artigo**, 2017. Disponível em: <http://casa.umcomo.com.br/artigo/como-identificar-madeira-de-lei-25789.html>. Acesso em: 22 de Abril de 2022.

MORESCHI, João Carlos **PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA MADEIRA** 1ª. edição: fevereiro/ 2.005; 4ª edição: novembro/ 2.012 – atualização: setembro/ 2014  
Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR Prof. Dr. João Carlos Moreschi

MOTTA, L. A. de C.; AGOPYAN, V. **Caracterização de fibras curtas empregadas na construção civil.** 2007.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do Concreto.** 370p. Tradução: Salvador E. Giammusso. 5ª ed.rev.atual. São Paulo: 2016.

OLIVEIRA, K. et al. Análise econômica de uma serraria no município de Ipixuna do Pará. **Revista Observatório de la Economía Latinoamericana.** 2009.

PIERI, Cristine..**Madeira de lei campos&negócios**, 2021. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/madeira-de-lei/>. Acesso em: 30 de nov. de 2021.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de Madeira, 6ª edição.**LTC: Grupo GEN, 2003.

SANTOS, Matheus Machado Mendes. **Análise da resistência do concreto estrutural com substituição parcial do cimento por pó de serra.** 2019.

SOUZA, M.O. **Delineamento Experimental e Amostragem: uma aplicação no Ensino Público da Educação Básica do Estado de Rondônia - Brasil.** 168p. Dissertação de Mestrado. Universidade Aberta, Lisboa, 2015.