



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETOS DOSADOS
COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR PÓ DE SERRA**

ANDRÉ BEZERRA DA SILVA

Orientador: Drº Marcos Antônio de Souza Simplício

Campina Grande-PB/2018.

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETOS DOSADOS
COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR PÓ DE SERRA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL**

ANDRÉ BEZERRA DA SILVA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Campina Grande como
requisito para obtenção do grau de bacharel em
Engenharia Civil.

Área de habilitação: Estruturas.

Orientador: Dr. Marcos Antônio de Souza Simplício

CAMPINA GRANDE – PB

MARÇO/2018.

FOLHA DE APROVAÇÃO

ANDRÉ BEZERRA DA SILVA

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETOS DOSADOS COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR PÓ DE SERRA

Trabalho de Conclusão de Curso em 22/03/2018 perante a seguinte Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Marcos Antônio de Souza Simplício

Departamento de Engenharia Civil CTRN/UFCG

Prof. Me. Leovegildo Douglas Pereira de Souza

Departamento de Engenharia Civil CTRN/UFCG

Prof^a. Me. Cássia Mendonça dos Anjos

Departamento de Engenharia Civil CTRN/UFCG

Profa. Dr^a. Isabelle Marie Trindade Bezerra

Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, irmãos, namorada, familiares e amigos que sempre estiveram me apoiando e incentivando em momentos de luta, agradeço o apoio. Dedico, em especial, a Deus que me dá forças e me guia.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar aqui os meus sinceros agradecimentos àquelas pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram, participaram ou incentivaram o desenvolvimento deste trabalho:

A Deus por tudo, pois sempre o fazemos tantos pedidos, então nada mais justo do que agradecer com a mesma intensidade com que pedimos.

Ao professor e orientador Marcos Simplício, pela confiança e reconhecimento do meu trabalho, através de uma orientação competente e provedora de conhecimentos, durante sua realização.

Aos técnicos do Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade de Campina Grande, Edvaldo e Conrado, pelo auxílio na confecção dos componentes estudados e na execução dos ensaios.

A todos os meus familiares que de certa forma contribuíram com a minha formação. Aos meus pais Edvan e Rosilene, pelo apoio e incentivo durante todo o curso de graduação.

*“O sucesso é a soma
de pequenos esforços
repetidos dia após dia.”
Robert Collier*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Concreto sendo empregado no enchimento de laje.....	15
Figura 2 - Elementos que compõem o concreto.....	16
Figura 3 - Impactos causados ao meio ambiente pela extração desenfreada de areia....	19
Figura 4 - Serragem (à esquerda), cepilho (ao centro) e lenha (à direita).....	21
Figura 5 - Toneladas de serragem sem finalidade econômica dispostos em galpão.....	22
Figura 6 - Acúmulo de pó de serra no meio ambiente.....	22
Figura 7 - Blocos de concreto produzidos com a adição de pó de serra.....	24
Figura 8 - Materiais Utilizados: Cimento; Areia; Serragem; Brita.....	26
Figura 9 - Betoneira utilizada e concreto produzido com adição de serragem.....	27
Figura 10 - Corpos de prova moldados para este estudo.....	28
Figura 11 - Desmolde dos corpos de prova sem serragem e com serragem.....	28
Figura 12 - Cura dos corpos de prova sem serragem e com serragem.....	29
Figura 13 - Fluxograma das etapas de pesquisa.....	29
Figura 14 - Curva Granulométrica do agregado miúdo.....	31
Figura 15 - Curva Granulométrica do agregado graúdo.....	32
Figura 16 - Ensaio de absorção da serragem usada na produção dos corpos de prova..	34
Figura 17 - Gráfico do consumo de água em função da resistência do concreto.....	35

Figura 18 - <i>Realização do Slump test</i>	43
Figura 19 - Ensaio de compressão axial realizado nos corpos de prova.....	44
Figura 20 - Perda da resistência à compressão axial aos 28 dias nos traços.....	45
Figura 21 - Ensaio de tração por compressão diametral nos corpos de prova.....	46
Figura 22 - Perda da resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Proporções em massa dos traços com substituições de areia por serragem..	27
Tabela 2 - Resultados da caracterização do agregado miúdo.....	30
Tabela 3 - Composição Granulométrica do agregado miúdo.....	30
Tabela 4 - Resultados da caracterização do agregado graúdo.....	32
Tabela 5 - Composição Granulométrica do agregado graúdo.....	32
Tabela 6 - Especificações normativas.....	33
Tabela 7 - Determinação do consumo de água em litros.....	36
Tabela 8 - Determinação do consumo de agregado graúdo.....	37
Tabela 9 - Valores médios da massa específica aparente do concreto.....	42
Tabela 10 - Valores obtidos no ensaio de consistência (Slump Test).....	43
Tabela 11 - Resistência média à compressão dos traços de concreto ensaiados.....	45
Tabela 12 - Resistência à tração por compressão diametral dos traços ensaiados.....	47
Tabela 13 - Resistência à tração para dosagem de concreto com f_{ck} de 20 MPa.....	49
Tabela 14 - Resistência à compressão calculada em relação ao f_{ctm} experimental.....	49

RESUMO

A construção civil é um dos setores que provocam maior impacto ambiental devido ao elevado consumo de matéria-prima, o que conseqüentemente, a torna também uma das principais atividades geradoras de resíduos. Por ser um tipo de resíduo não desejado pelas indústrias, o pó de serra normalmente é descartado e queimado, o que resulta na retirada de oxigênio da atmosfera, na liberação de vapor de água e do gás carbônico, agravando ainda mais a poluição ambiental. Estimando uma produção média de 2 mil metros cúbicos de madeira serrada por mês, todas as serrarias do país gerariam, ao fim de um ano, cerca de 620 mil toneladas de serragem. Portanto, trata-se de um material bastante abundante e sem valor econômico, o que naturalmente faz com que a busca por outros fins mais nobres para este tipo de resíduo seja algo extremamente interessante do ponto de vista econômico e ambiental. Este trabalho tem como objetivo analisar a possibilidade de utilização de resíduos da indústria de base madeireira, como uma nova alternativa de material para o setor da construção civil. Foram desenvolvidos concretos com pó de serra em substituição ao agregado miúdo mineral (areia), nas proporções de 10 e 25%, buscando avaliar o seu desempenho mecânico quanto a tração e compressão simples. Os resultados desse trabalho mostraram que o emprego do pó de serra na dosagem de concretos não é recomendado para elementos estruturais, pois os resultados obtidos não foram satisfatórios, tendo em vista que houve redução expressiva na resistência à compressão destes concretos dosados com serragem, além do aumento significativo do consumo de água para mantê-lo com uma boa trabalhabilidade. Por outro lado, os concretos dosados com serragem mostraram-se como opções viáveis para o uso em outras áreas da construção civil como enchimento de lajes e blocos de vedação.

PALAVRAS-CHAVE: Pó de serra, agregado miúdo, compressão simples.

ABSTRACT

Civil construction is one of the sectors that cause greater environmental impact due to the high consumption of raw material, which consequently makes it one of the main activities that generate waste. Since it is a type of waste unwanted by industries, sawdust is usually discarded and burned, resulting in the withdrawal of oxygen from the atmosphere while it releases water vapor and carbon dioxide, which further exacerbate environmental pollution. If we estimate an average production of 2 thousand cubic meters of sawdust waste per month, all sawmills in the country would generate, at the end of one year, about 620 thousand tons of sawdust. Therefore, it is a very abundant material with no economic value, which naturally makes the search for other more noble purposes for this type of waste something extremely interesting from an economic and environmental point of view. The main goal of this work is to analyze the possibility of using wood based industry waste as a new alternative material for the construction field. Concrete was produced with sawdust replacing the fine aggregate (sand), in the proportions of 10 and 25%, in order to evaluate the mechanical performance for simple compression and traction. The results of this work showed that the use of sawdust in the concrete dosage is not recommended for structural elements, since the results obtained were not satisfactory, considering that there was an expressive reduction in the compressive strength of these concretes dosed with sawdust, besides the significant increase in water consumption to maintain it with good workability. On the other hand, the concrete dosed with sawdust proved to be quite attractive for being used in other fields of civil construction, such as filling of slabs and blocks of fence.

KEYWORDS: Sawdust, fine aggregate, simple compression.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
2.	OBJETIVOS	12
2.1.	Objetivo Geral	12
2.2.	Objetivos Específicos	12
3.	JUSTIFICATIVA	13
4.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
4.1.	O surgimento do Concreto	14
4.2.	Por que utilizar o concreto?.....	14
4.3.	Composição do concreto	15
4.4.	Propriedades mecânicas do concreto.....	17
4.5.	Concreto com sustentabilidade.....	17
4.6.	Uso de areia na produção do concreto e o impacto ambiental	18
4.7.	A madeira como material de construção	20
4.8.	Classificação dos resíduos da madeira	20
4.9.	Geração de resíduos e o impacto ambiental	21
4.10.	Tratamentos visando melhorar a compatibilidade madeira-cimento.....	23
4.11.	Uso do pó de serra na produção do concreto.....	23
5.	MATERIAIS E MÉTODOS	25
5.1.	Materiais.....	25
5.2.	Métodos	26
5.2.1.	Caracterização física do agregado miúdo.....	30
5.2.2.	Caracterização Física do agregado graúdo	31
5.3.	Determinação do traço de referência a ser utilizado nos ensaios	344
6.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
6.1.	Massa específica aparente dos corpos de prova	42
6.2.	Consistência e trabalhabilidade dos concretos dosados	442
6.3.	Resistência à compressão axial simples dos corpos de prova	444
6.4.	Resistência à tração por compressão diametral dos corpos de “prova”	46
7.	CONCLUSÕES	50
8.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	52
9.	REFERÊNCIAS	53

1. INTRODUÇÃO

A reciclagem é de fundamental importância para a redução dos impactos causados ao meio ambiente, pois através dela pode-se diminuir a quantidade de resíduos gerados pela atividade industrial e que, conseqüentemente, acabariam sendo dispostos no meio ambiente. Assim, as empresas estão se conscientizando de que a geração de resíduos gera custos, pois requer seu tratamento e disposição em locais apropriados, e devido a isto elas estão buscando cada vez mais alternativas que possam minimizar tais custos.

Atualmente, várias empresas investem cada vez mais em equipamentos e formação de quadros técnicos para eliminar ou minimizar a cultura do desperdício e consolidar a redução de perdas e reciclagem dos resíduos. Não só porque os resíduos provocam impactos ambientais negativos, como também a sua redução e aproveitamento podem minimizar o consumo de recursos naturais e energéticos.

Um das soluções desenvolvidas pelas indústrias e que vem sendo aplicada com grande sucesso, alcançando ótimos resultados no aspecto econômico, social e ambiental, é a reciclagem dos seus resíduos. Dentre as inúmeras vantagens do reaproveitamento dos resíduos, pode-se citar a economia de energia e recursos naturais; a melhoria da imagem da empresa frente ao mercado consumidor e a redução dos custos industriais mediante a incorporação de resíduos em seus processos produtivos.

De acordo com BOHN, SANTOS e GARCEZ (2013), o agregado miúdo comumente utilizado em concretos é um recurso mineral, cuja exploração agride intensamente o ambiente, indicando que com o passar do tempo seu uso se tornará insustentável. Desta forma, os resíduos de indústrias de base madeireira podem tornar-se uma alternativa para resolver essa questão, pois além de se tratar de um recurso natural renovável, de versátil utilização e baixo consumo energético, apresenta massa específica reduzida, o que o torna um material apropriado para substituir em determinada proporção o agregado miúdo do concreto.

Assim, o reaproveitamento de resíduos tem se mostrado como uma boa alternativa na redução do impacto causado pelo consumo desordenado de matéria prima e pela redução das áreas de disposição, considerando o crescente volume de resíduos descartados a cada ano em todo o mundo, além de que a preservação ambiental nos tempos atuais tem grande destaque, interferindo inclusive nas relações comerciais

internacionais. Portanto, a utilização de resíduos de madeira vai ao encontro destas diretrizes.

Nesta pesquisa será realizada a substituição parcial do agregado miúdo pelo pó de serra, buscando uma forma de reaproveitamento deste rejeito da indústria madeireira, visto que o pó de serra possui características que podem ser vantajosas para a mistura de concreto, tais como o baixo peso específico e propriedades de isolante térmico, o que pode proporcionar uma melhoria significativa no desempenho do concreto no que se refere à redução do peso com aumento da resistência térmica.

Buscou-se na escolha do material utilizado algumas características como baixo custo, facilidade em sua utilização e obtenção.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Esse trabalho tem como objetivo geral avaliar a possibilidade da utilização de pó de serra em substituição parcial ao agregado miúdo, especificamente na produção de concretos.

2.2. Objetivos Específicos

- Avaliar a influência do uso do pó serra na resistência à compressão e tração do concreto
- Avaliar a diminuição do peso específico do concreto com pó de serra em relação ao concreto convencional.

3. JUSTIFICATIVA

A necessidade de casas de baixo custo, especialmente aquelas direcionadas às classes de baixa renda, é reconhecida pelos governantes, que procuram direcionar sua política nesse sentido. Práticas especiais de financiamentos são direcionadas para esse alvo. Entidades de classe também participam no atendimento a essas necessidades; como exemplo desse fato pode-se citar o programa “Minha Casa Minha Vida”, lançado pelo governo federal brasileiro.

Desta forma, a reciclagem de resíduos apresenta-se como uma possível solução para este problema, pois ela pode viabilizar novos materiais de construção com preço reduzido, gerando benefícios sociais através do programa habitacional, na produção de habitações de baixa renda.

Outro ponto que torna esta pesquisa de extrema importância para a sociedade como um todo é a busca crescente e constante por materiais que sejam cada vez mais eficientes e que causem pouco ou nenhum dano ao meio ambiente. É aí que os resíduos de madeira entram na história, pois sua utilização pode contribuir para minimizar o impacto ambiental, com a redução do volume de extração de matérias primas, deposições ilegais, menores emissões de poluentes, e conservação de matéria prima não renovável.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Atualmente, o concreto é um material construtivo amplamente disseminado. O material é parte integrante de praticamente todas as construções, de edificações residenciais a grandes obras de infraestrutura, como hidrelétricas, pontes e as rodovias que cortam o País. Estima-se que anualmente são consumidas 11 bilhões de toneladas de concreto, o que dá aproximadamente, um consumo médio de 1,9 tonelada de concreto por habitante por ano, valor inferior apenas ao consumo de água. No Brasil, o concreto que sai de centrais dosadoras gira em torno de 30 milhões de metros cúbicos. (IBRACON, 2009)

4.1. O surgimento do Concreto

Por se tratar do material construtivo mais utilizado no mundo, conhecer a história do concreto, ainda que minimamente, é algo essencial para todo profissional da área da construção civil.

A história do surgimento do concreto deve ser remetida à do cimento, seu principal componente e que produz a reação química de formação da pasta aderente, a qual torna o concreto tão eficiente. O cimento tem em sua antiga história, passagem pelas pirâmides do Egito, que utilizaram em sua concepção uma espécie de gesso calcinado, entra pela Roma e Grécia antigas, que aplicaram em seus monumentos uma massa obtida pela hidratação de cinzas vulcânicas e ganha desenvolvimento nas mãos do inglês John Smeaton, em suas pesquisas para encontrar um aglomerante para construir o farol de Eddystone em 1756. Com James Parker, que descobriu em 1791 e patenteou em 1796 um cimento com o nome de Cimento Romano, composto por sedimentos de rochas da ilha de Sheppel e ganha destaque com as pesquisas e publicações feitas pelo engenheiro francês Louis José Vicat em 1818.

4.2. Por que utilizar o concreto?

Para Pedroso (2009), de maneira sucinta, pode-se afirmar que o concreto (Figura 1) é uma pedra artificial que se molda à inventividade construtiva do homem. Este foi capaz de desenvolver um material que, depois de endurecido, tem resistência similar à

das rochas naturais e, quando no estado fresco, é composto plástico: possibilita sua modelagem em formas e tamanhos os mais variados.

Figura 1 – Concreto sendo empregado no enchimento de laje.



Fonte: <http://construcaomercado17.pini.com.br/>

Duas propriedades do concreto que o destacam como material construtivo são: sua resistência à água – diferentemente do aço e da madeira, o concreto sofre menor deterioração quando exposto à água, razão de sua utilização em estruturas de controle, armazenamento e transporte de água – e sua plasticidade – que possibilita obter formas construtivas inusitadas, como se vê nas obras arquitetônicas de Niemeyer. Mas existem outras vantagens: a disponibilidade abundante de seus elementos constituintes e seus baixos custos (PEDROSO, 2009).

De acordo com a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (2002), em termos de sustentabilidade, o concreto armado consome muito menos energia do que o alumínio, o aço, o vidro, e também emite proporcionalmente menos gases e partículas poluentes.

4.3. Composição do concreto

De acordo com ARAÚJO, RODRIGUES e FREITAS (2000), o concreto de cimento Portland é basicamente o material resultante da mistura, em determinadas

proporções, de aglomerante, agregado miúdo, agregado graúdo e água. O cimento e a água, quando misturados, desenvolvem um processo denominado hidratação e formam uma pasta que adere às partículas dos agregados. Nas primeiras horas após o preparo é possível dar a essa mistura o formato desejado. Algumas horas depois ela endurece e, com o passar dos dias, adquire grande resistência mecânica, convertendo-se num material monolítico dotado das mesmas características de uma rocha.

Para HELENE e ANDRADE (2010), o concreto de cimento Portland é o mais importante material estrutural e de construção civil da atualidade. Mesmo sendo o mais recente dos materiais de construção de estruturas, pode ser considerado como uma das descobertas mais interessantes da história do desenvolvimento da humanidade e sua qualidade de vida.

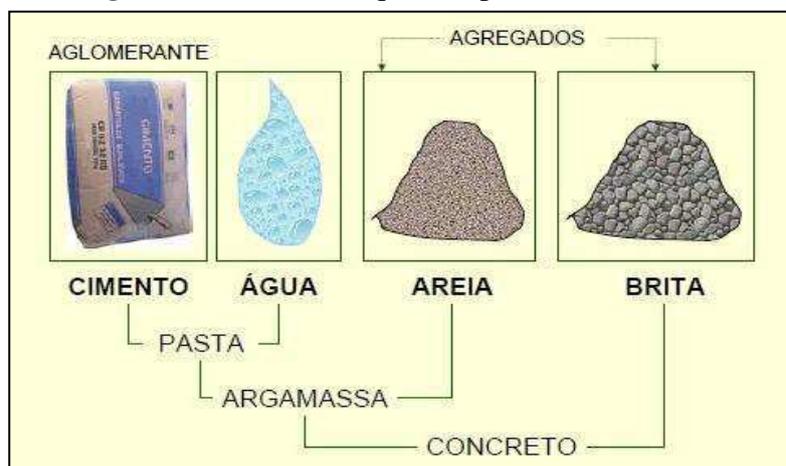
Segundo PETRUCCI (1998), outro constituinte destinado a melhorar ou conferir propriedades especiais ao concreto, tais como impermeabilidade da massa, maior plasticidade quando fresco, são os aditivos.

De acordo com o autor, ao conjunto cimento mais água dá-se a denominação de pasta, que tem como função envolver os agregados, enchendo os vazios formados e comunicando ao concreto possibilidades de manuseio, quando recém-misturado.

O autor ressalta também que a função dos agregados é contribuir com grãos capazes de resistir aos esforços solicitantes, ao desgaste e à ação das intempéries, reduzir as variações de volume provenientes de várias causas, e reduzir o custo.

A Figura 2 mostra de forma sucinta os componentes comumente empregados na produção do concreto.

Figura 2 – Elementos que compõem o concreto.



Fonte: Acervo Próprio.

De acordo com HELENE e TERZIAN (1993), para se obter um concreto com as características físicas e químicas previstas em projeto, é essencial conhecer todos os seus componentes e suas características, pois elas têm extrema importância em seu processo de dosagem.

4.4. Propriedades mecânicas do concreto

As principais propriedades mecânicas do concreto são: resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade. Essas propriedades são determinadas a partir de ensaios, executados em condições específicas. Geralmente, os ensaios são realizados para controle da qualidade e atendimento às especificações.

De acordo com MEHTA e MONTEIRO (1994), no projeto de estruturas de concreto, a resistência à compressão é a propriedade geralmente especificada. Isto porque comparada com a maioria das propriedades, ela é relativamente fácil de ser ensaiada e através dela pode-se indicar eventuais variações da qualidade de um concreto, quer seja com relação à dosagem, quer seja quanto a seus insumos. Além disso, ela é uma propriedade do concreto diretamente ligada à segurança e à estabilidade estrutural.

De acordo com FARIAS, LOPES e STIVAL (2003), o conhecimento da resistência à tração permite estimar a carga para a qual ocorre a fissuração e, desse modo, prever a durabilidade do concreto. Outras características como aderência entre o concreto e a armadura, a contribuição do concreto para resistir ao cisalhamento, à torção, à retração e a contrações de temperatura estão relacionadas com sua resistência à tração.

4.5. Concreto com sustentabilidade

Segundo SANTOS (2013), a minimização dos impactos ambientais tem mobilizado a sociedade, em escala planetária, na busca de conceitos sustentáveis. A sustentabilidade pode ser definida como sendo aquele desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem suas próprias necessidades. A indústria da construção civil e, em particular,

a indústria concreteira, parece encontrar-se ainda em um estágio incipiente de sustentabilidade.

De acordo com a autora, o processo de produção de concreto é um dos maiores consumidores de matéria-prima virgem, como areia, pedra, cascalho moído e água fresca, gerando significativo impacto ambiental. Todavia, reside na produção do cimento Portland, ingrediente indispensável ao concreto, o maior impacto.

A autora ainda ressalta que o cimento, cujo consumo aproxima-se a 2 bilhões de toneladas por ano, sozinho, gera grande volume de extrações de rochas e movimentação de terra. Além disso, sua produção corresponde a 7% da emissão de CO₂ na atmosfera, o que contribui diretamente para o aquecimento global e o efeito estufa.

Esse panorama de “vilão ambiental” tem sido encarado de forma séria por pesquisadores ao redor do mundo. É sabido que o concreto (e também o cimento) é capaz de absorver, na forma de material constituinte, uma série de resíduos oriundos da indústria e da agricultura, colaborando diretamente para a recuperação e minimização de impacto ambiental de outros segmentos da produção e, indiretamente, proporcionar uma redução de poluição gerada em seu próprio processo produtivo.

Além disso, os aditivos químicos quando adicionados em misturas à base de cimento Portland reduzem consideravelmente a necessidade de água na produção de concretos. O uso combinado de vários desses materiais tem resultado em concretos que ao mesmo tempo em que atendem aos requisitos de projeto no estado fresco e endurecido, são capazes de colaborar para a sustentabilidade não só da cadeia produtiva da construção civil, mas também minimiza danos ambientais de outros segmentos industriais.

4.6. Uso de areia na produção do concreto e o impacto ambiental

De acordo com LIMA, C. et al. (2014), com o constante desenvolvimento da construção civil, o uso do concreto nas obras vem aumentando de forma agressiva nos últimos anos, o que acarreta no aumento do consumo das matérias primas empregadas em sua fabricação. O fato dele ser um material maleável, com grande resistência e atender a diferentes situações nas construções contribui para este aumento, o que faz com que ele seja o material mais utilizado nas construções.

Um dos componentes do concreto é o agregado miúdo, que na grande maioria das situações trata-se da areia. Com a crescente demanda por concreto pelo setor da construção civil, a utilização deste material cresce mais e mais a cada dia.

À primeira vista, a extração de areia devido as suas características de material inerte, não deveria causar grandes danos ao meio ambiente. No entanto, o grande volume desse material que precisa ser extraído para atender à crescente demanda da construção civil e também tornar a atividade de extração lucrativa, aliado à utilização de métodos de lavra inadequados, criam problemas irreversíveis, que se traduzem de forma genérica por alterações no modelado do relevo, pela destruição da vegetação que recobre as superfícies arenosas, eliminação da fauna local, alterações na geometria dos cursos de água e alterações climáticas. A Figura 3 exemplifica tal fato.

Figura 3 – Impactos ocasionados ao meio ambiente pela extração desenfreada de areia.



Fonte: http://www.camacariagora.com.br/dn.php?cod_noticia=4469

A areia é um material com baixo valor agregado, cujas áreas produtoras não devem se situar a mais que 200 km de distância dos centros consumidores (MACEDO, 1985). Dessa forma, à medida que as jazidas mais próximas dos grandes centros e com materiais de melhor qualidade vão se esgotando, as mineradoras passam a extrair materiais de pior qualidade, em locais mais distantes e com métodos de lavra que

possibilitem um menor custo financeiro sem se importarem com os danos ambientais causados por esses métodos.

4.7. A madeira como material de construção

A madeira é um dos materiais de utilização mais antigo nas construções, tendo sido utilizada por todo o mundo, quer nas civilizações primitivas, quer nas desenvolvidas, no oriente ou ocidente. No entanto, com a revolução industrial, a Inglaterra como grande potência acabou impondo a arquitetura em metal e com o surgimento do concreto armado, os estudiosos concentraram cada vez mais os esforços no estudo deste novo material, deixando assim de lado a utilização da madeira.

De acordo com ZENID (2009), a madeira possui diversas propriedades que a tornam muito atraente frente a outros materiais tais como: o baixo consumo de energia para seu processamento, a alta resistência específica, as boas características de isolamento térmico e elétrico, além de ser um material muito fácil de ser trabalhado manualmente ou por máquinas.

Ainda segundo o mesmo autor, o aspecto, no entanto, que distingue a madeira dos demais materiais é a possibilidade de produção sustentada nas florestas nativas e plantadas e nas modernas técnicas silviculturais empregadas nos reflorestamentos, que permitem alterar a qualidade da matéria-prima de acordo com o uso final desejado.

A madeira é um dos materiais de utilização mais antiga nas construções, foi utilizada por todo o mundo, quer nas civilizações primitivas, quer nas desenvolvidas, no oriente ou ocidente. Pode ser utilizada em diversas etapas desde as fundações até os acabamentos, passando tanto pela estrutura como por material auxiliar. Pode ser usada também em diversos tipos de construção como em estradas de ferro, galerias, etc.

4.8. Classificação dos resíduos da madeira

De acordo com FONTES (1994), resíduo é tudo aquilo que sobra de um processo de produção industrial ou exploração florestal.

FONTES (1994) juntamente com o extinto IBDF (Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal) e a Universidade Federal do Paraná classificaram os resíduos em três tipos distintos (Ver Figura 4):

a) Serragem (ou pó de serra) - resíduo originado da operação de serras, encontrado em todos os tipos de indústria, à exceção das laminadoras.

b) Cepilho - conhecido também por maravalha, resíduo gerado pelas plainas nas instalações de serraria/beneficiamento e beneficiadora (indústrias que adquirem a madeira já transformada e a processam em componentes para móveis, esquadrias, pisos, forros, etc.).

c) Lenha - resíduo de maiores dimensões, gerado em todos os tipos de indústria, composto por costaneiras, aparas, refilos, resíduos de topo de tora.

Figura 4 – Serragem (à esquerda), cepilho (ao centro) e lenha (à direita).



Fonte: <https://www.ecycle.eco.br/>

4.9. Geração de resíduos e o impacto ambiental

No Brasil, um sério problema ambiental é a contaminação dos solos e de lençóis freáticos por causa do acúmulo de resíduos das indústrias madeireiras, tais como pó de serra, cascas, capilhos e outros, como mostrado na Figura 5. De acordo com BRANCO (2003), cerca de 14% do volume de toras processadas em serrarias da região Sul se transformam em serragem. Embora parte deste volume seja usado como combustível ou como componente da indústria de chapas, existe um grande excedente não utilizado, principalmente nas pequenas serrarias, onde o rendimento no processamento é geralmente mais baixo. Normalmente, parte desta serragem é queimada ou disposta em aterros inadequados, ocasionando o desprendimento de chorumes, de alta carga orgânica tóxica, provocando danos ao ambiente, principalmente em córregos, rios e mananciais de uso municipal.

Figura 5 – Toneladas de serragem sem finalidade econômica dispostos em galpão.



Fonte: <http://www.mfrural.com.br/>

O grande volume de resíduos gerados pelas indústrias de transformação da madeira é um problema existente em todas as serrarias brasileiras. Embora as empresas modernas incluam em sua atividade o gerenciamento ambiental e o aproveitamento integrado de seus subprodutos, a maioria das serrarias ainda está despreparada para o descarte apropriado de seus rejeitos. O sistema mais utilizado no descarte é o depósito a céu aberto em pátios desprovidos de controle ambiental (Figura 6).

Figura 6 – Acúmulo de pó de serra no meio ambiente.



Fonte: <http://www.mfrural.com.br/>

Atualmente, 52,8% dos resíduos gerados no país são gerenciados de forma inadequada (BORGES, 1993), incluindo nesta percentagem os resíduos industriais (madeiras etc.), muitas empresas não aproveitam de maneira coerente os seus resíduos alegando que a relação custo/benefício não justifica. Em função da destinação inadequada de seus resíduos, ocasionando desconforto, além de diversas consequências negativas, tanto sociais (prejudiciais à saúde), como ambientais (impacto ao meio ambiente devido ao acúmulo de resíduo), se enquadrando na constituição como fonte poluidora. Os impactos causados por esses resíduos provenientes de serrarias ao meio ambiente estão diretamente ligados à exploração madeireira e na quantidade de serragem desperdiçada ou queimada.

4.10. Tratamentos visando melhorar a compatibilidade madeira-cimento

De acordo com SIMATUPANG et al. (1978), na grande maioria das vezes, torna-se difícil a escolha de espécies compatíveis com o cimento e, portanto, faz-se necessário tratá-las com técnicas simples e confiáveis.

Ainda segundo o autor, as técnicas mais utilizadas para proporcionar a compatibilidade entre a madeira e o cimento são: maturação da madeira ou das partículas, extração de componentes inibitórios, secagem das partículas, utilização de cimento de alta resistência inicial (no Brasil, o CP-V-ARI), utilização de cimento aluminoso, uso de aceleradores de pega, dentre outros. No entanto, determinadas matérias-primas vegetais requerem maiores cuidados compreendendo, às vezes, o uso de mais de uma técnica para que se obtenha compatibilidade com o cimento.

4.11. Uso do pó de serra na produção do concreto

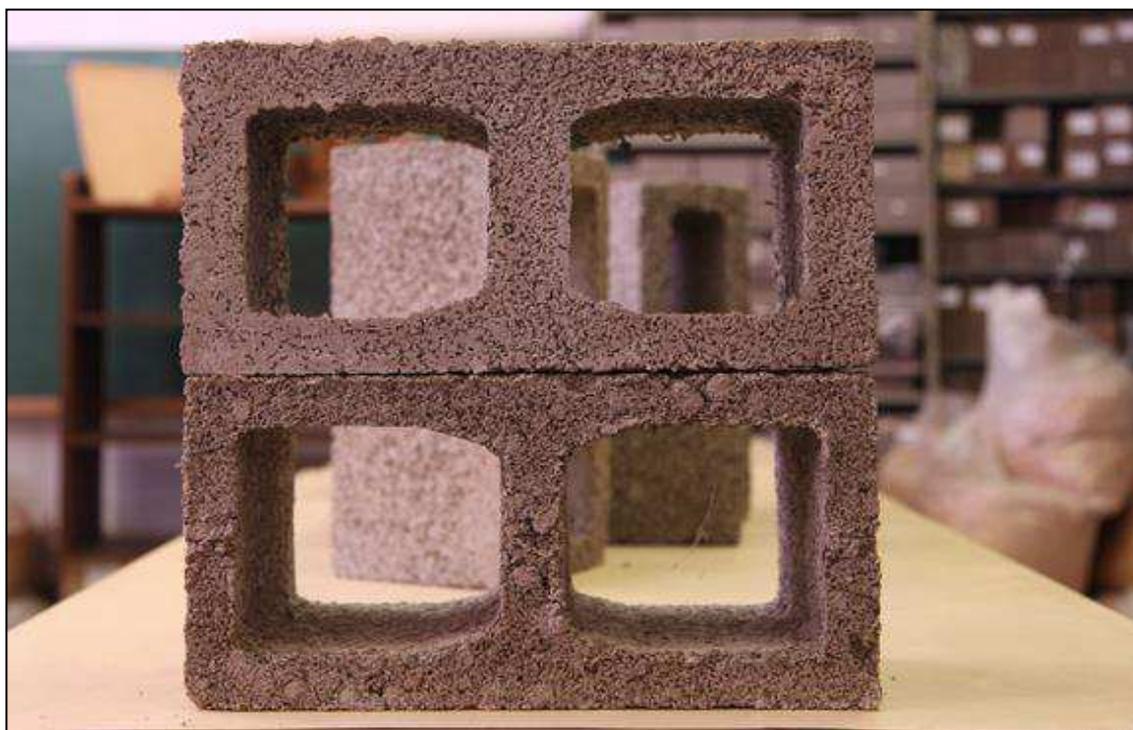
Tendo em vista que o concreto é o material de construção mais utilizado no mundo e que a areia representa cerca de 30% de seu volume, é de se esperar que a extração natural deste agregado, com o passar do tempo, se torne insustentável. Assim, é necessário que se façam pesquisas a fim de procurar novas alternativas a este agregado. A reciclagem dos próprios materiais utilizados na construção civil tem se revelado uma excelente saída para este problema (LODI, 2006).

Nesse contexto, os estudos realizados por pesquisadores como DANTAS (2004) com o pó de serra utilizado na produção de concreto com agregado miúdo em substituição parcial ou total ao agregado miúdo mineral (areia) têm se mostrado bastante satisfatórios.

De acordo com o autor, a substituição do agregado miúdo por pó de serra possibilita a redução significativa da areia na produção do concreto, comportando-se como um material mais leve e termo isolante, em função da baixa condutividade térmica, sendo assim um ótimo material para produção de blocos (Figura 7). As pesquisas mostraram que o material é 3,5 vezes mais isolante térmico que o concreto convencional. Segundo ele, materiais convencionais, como o concreto precisam ser revestidos com isolantes térmicos para reduzir o calor gerado nos ambientes, o que além de encarecer o projeto nem sempre produz efeito estético satisfatório.

Segundo BERTOLI e BRITO (2003), outra vantagem bastante interessante da adição de materiais reciclados como o pó de serra na composição do traço de concreto é a melhora significativa na absorção sonora desse material.

Figura 7 – Blocos de concreto produzidos com a adição de pó de serra.



Fonte: DANTAS (2004)

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Para atender ao objetivo proposto, foi desenvolvido um programa experimental buscando comparar as misturas que utilizam serragem em substituição ao agregado miúdo e a mistura de referência, sem serragem, que utiliza apenas areia como agregado miúdo. As misturas foram avaliadas quanto à resistência a compressão axial, à resistência a tração por compressão diametral e quanto à massa específica aparente.

5.1. Materiais

Os materiais utilizados para a confecção dos corpos de prova cilíndricos nesta pesquisa (Figura 8) foram:

- Cimento: O cimento utilizado na pesquisa foi o CP II-Z-32, fornecido pela fábrica de cimento Zebu, no município de Santa Rita – PB;
- Pó de serra: Resíduo da indústria madeireira proveniente de serraria da própria cidade de Campina Grande-PB. O resíduo passa por um processo de peneiramento até adquirir granulometria compatível retirada das partes tóxicas e trituração até adquirir consistência pulverulenta com diâmetros máximos inferiores a 0,075mm atuando como fíler na mistura;
- Agregado miúdo: tipo natural com granulometria média e proveniente de jazida do leito do Rio Paraíba;
- Agregado graúdo: agregado britado, de origem granítica proveniente da pedreira explorada pela CONTEC INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA, situada no município de Pocinhos-PB, e apresentando diâmetro máximo padronizado para brita 1;
- Água: destinada ao consumo humano fornecido pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA).

Figura 8 – Materiais Utilizados: Cimento (A); Areia (B); Serragem (C); Brita (D).



Fonte: Acervo Próprio

5.2. Métodos

O trabalho em questão foi conduzido no Laboratório do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande-PB, localizado no bloco BK desta mesma instituição.

Para o perfeito desenvolvimento deste estudo, o dividimos em três etapas básicas.

Na primeira etapa, todos os materiais utilizados nos ensaios desta pesquisa foram devidamente caracterizados, utilizando-se para tanto dos ensaios normatizados de massa específica, absorção, massa unitária, granulometria e módulo de finura.

De posse dos resultados destes ensaios e com todos os materiais da pesquisa devidamente caracterizados, iniciou-se a segunda etapa da pesquisa, onde utilizou-se o método de dosagem do concreto da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) para definir o traço de referência em 1,0: 2,33: 2,74: 0,53 (onde estas proporções são em massa de cimento: areia: brita granítica: relação água/cimento). Em seguida, foram feitas substituições parciais de areia por pó de serra em teores de 10% e 25%, resultando nos traços mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Proporções em massa dos traços com substituições de areia por pó de serra.

Porcentagem	Traço	Cimento	Areia	Pó de serra	Brita	Absorção	Fator a/c
0,0% (REF)	A	1,00	2,33	0,00	2,74	-	0,53
10,0%	B	1,00	2,10	0,23	2,74	16%	0,53
25,0%	C	1,00	1,75	0,58	2,74	16%	0,53

Fonte: Acervo Próprio.

Os insumos foram separados, pesados em balança e em seguida foram misturados através de betoneira (Figura 9-A). Os materiais foram inseridos na betoneira na seguinte ordem: primeiro o agregado graúdo seguido pelo agregado miúdo, depois introduzida parte da água de amassamento; após esta mistura estar homogeneizada, foi adicionado o cimento Portland seguido pelo restante de água calculada para o traço. Os materiais foram misturados na betoneira por um período de tempo suficiente para que a mistura se tornasse totalmente homogênea (Figura 9-B).

Figura 9 – Betoneira utilizada (A) e concreto produzido com adição de serragem (B).



Fonte: Acervo Próprio.

Foram confeccionados corpos de prova com moldes no formato cilíndrico com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm de acordo com a norma NBR 5738:2003 - Concreto: Procedimento de moldagem e cura de corpos de prova de concreto. Para cada traço estudado, foram moldados 7 corpos de prova, totalizando assim 21 unidades produzidas, mostrados na Figura 10.

Figura 10 – Corpos de prova moldados para este estudo.



Fonte: Acervo Próprio.

Devido à característica da madeira de absorver umidade, o rompimento dos corpos de prova se deu apenas na idade de 28 dias, pois aos 7 dias foi verificado que eles ainda não haviam perdido boa parte de sua umidade interna e por conta disto não estavam rígidos o suficiente, sendo deformados com o mínimo esforço aplicado. Tal fato fez com que os ensaios planejados com os corpos de prova para a idade de 7 dias fossem completamente descartados.

Passadas 24 horas após a moldagem, os corpos de prova foram então desmoldados (Figura 11-A). No entanto, nesta etapa verificou-se que para os corpos de prova com acréscimo de serragem (Figura 11-B), o desmolde ainda não era indicado pois grande parte da água utilizada no próprio traço do concreto ainda se encontrava retida no interior destes corpos de prova devido à propriedade de retenção de umidade das madeiras em geral. Assim, os corpos de prova com adição de serragem só obtiveram condições para o desmolde aos 7 dias de idade.

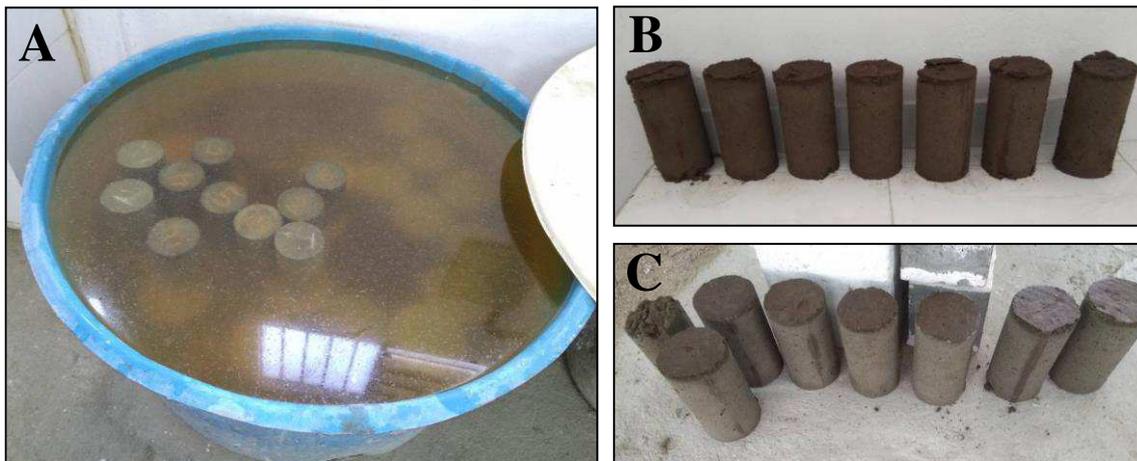
Figura 11 – Desmolde dos corpos de prova sem serragem (A) e com serragem (B).



Fonte: Acervo Próprio.

Os corpos de prova com o concreto convencional (traço de referência), após o desmolde foram identificados e levados para cura por submersão em água (Figura 12-A), onde permaneceram até serem rompidos aos 28 dias. No entanto, mais uma vez o procedimento convencional não pôde ser aplicado aos corpos de prova com adição do pó de serra. Para estes, como havia bastante umidade retida em seu interior, a cura se deu ao ar livre e sem exposição solar (Figuras 12-B e 12-C).

Figura 12 – Cura dos corpos de prova sem serragem (A) e com serragem (B e C).

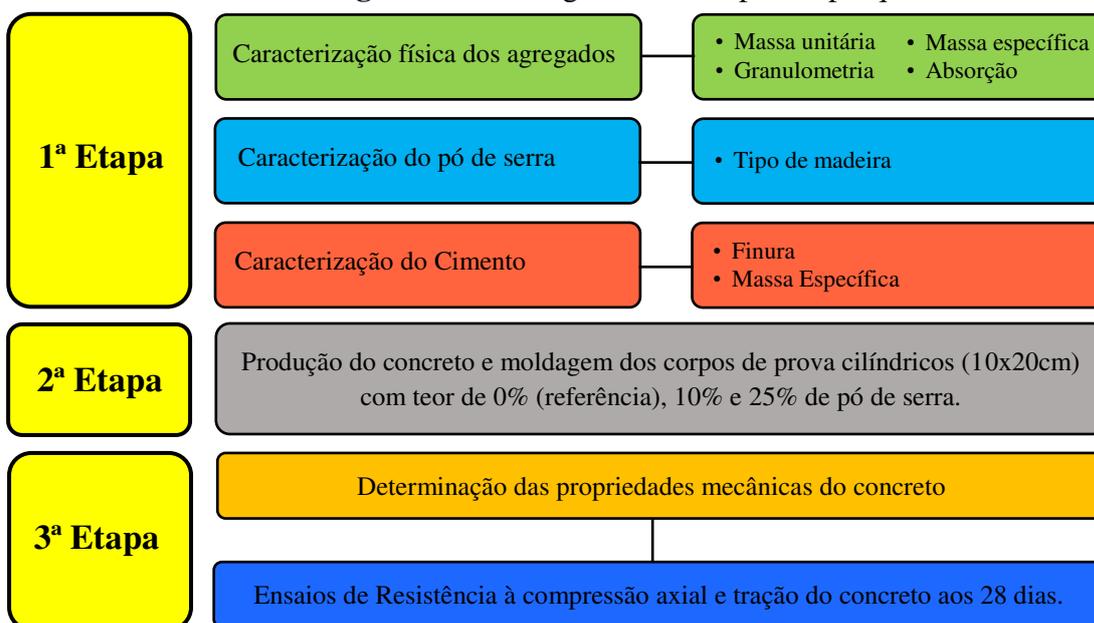


Fonte: Acervo Próprio.

Por fim, na terceira etapa os corpos de prova foram submetidos aos ensaios de resistência à compressão axial simples para que assim os resultados obtidos com esta pesquisa pudessem ser analisados.

A Figura 13 apresenta de forma sucinta o Fluxograma das etapas desta pesquisa.

Figura 13 - Fluxograma das etapas de pesquisa.



Fonte: Acervo Próprio.

5.2.1. Caracterização física do agregado miúdo

Para caracterização do agregado miúdo utilizado nos ensaios, foram realizados os ensaios de massa específica, absorção, massa unitária e granulometria.

Para determinar a massa específica da areia, foi utilizado o método descrito na NBR NM 52:2002 “Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente”.

Foi determinada também a massa unitária do agregado miúdo no estado solto seguindo-se o método de ensaio descrito na ABNT NBR NM 45 (ABNT, 2006). Para tanto, foi feita a divisão da massa de agregado presente em um pequeno recipiente pelo seu respectivo volume.

Os resultados destes dois ensaios descritos acima são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados da caracterização do agregado miúdo.

<i>Parâmetro Determinado</i>	<i>Valor Médio</i>
<i>Massa Específica Unitária</i>	<i>2.740 Kg/m³</i>
<i>Massa Específica Real</i>	<i>2.610 Kg/m³</i>

Fonte: Acervo Próprio.

Para determinar a composição granulométrica da areia, foi seguida a norma NBR NM 248:2003 “Agregados - Determinação da composição granulométrica”.

Em cada peneira o material retido foi separado e pesado, anotando-se este valor, conforme mostrado na Tabela 3.

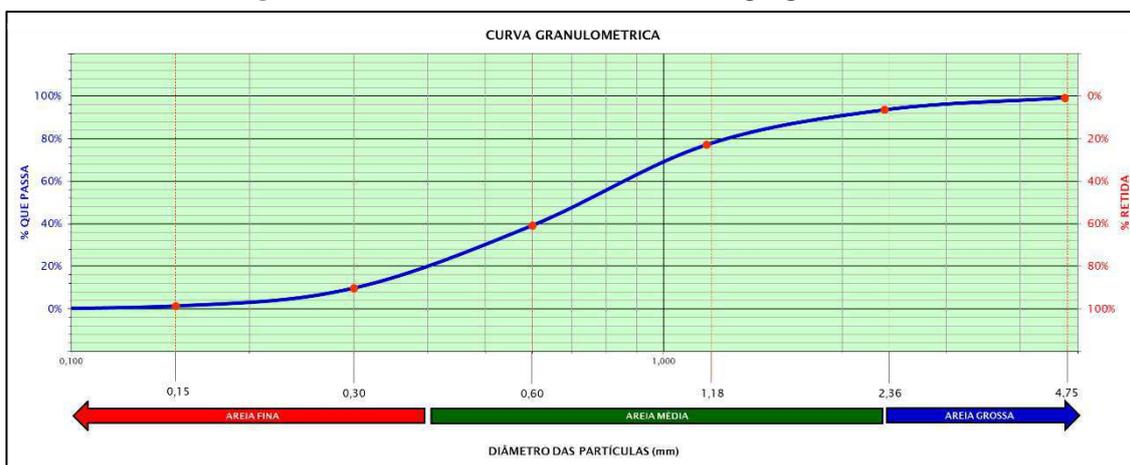
Tabela 3 – Composição Granulométrica do agregado miúdo.

Composição Granulométrica (ABNT NBR NM 248:2003)			
<i>Peneiras (mm)</i>	<i>Material Retido (g)</i>	<i>% Retida</i>	<i>% Acumulada</i>
<i>4,75</i>	<i>7,2</i>	<i>0,73</i>	<i>0,73</i>
<i>2,36</i>	<i>55,4</i>	<i>5,65</i>	<i>6,38</i>
<i>1,18</i>	<i>161,5</i>	<i>16,46</i>	<i>22,84</i>
<i>0,60</i>	<i>371,6</i>	<i>37,88</i>	<i>60,72</i>
<i>0,30</i>	<i>288,4</i>	<i>29,40</i>	<i>90,11</i>
<i>0,15</i>	<i>82,7</i>	<i>8,43</i>	<i>98,54</i>
<i>Fundo</i>	<i>14,3</i>	<i>1,46</i>	<i>100,00</i>
<i>Módulo de Finura = 2,79</i>			
<i>Diâmetro Máximo = 4,8mm</i>			

Fonte: Acervo Próprio.

O percentual retido acumulado em relação a cada peneira da série utilizada forneceu os dados para a definição da curva granulométrica do agregado miúdo em estudo, conforme mostrado na Figura 14. De posse destes dados, também foi possível determinar o módulo de finura e o diâmetro máximo característico do agregado.

Figura 14 – Curva Granulométrica do agregado miúdo.



Fonte: Acervo Próprio.

Quanto à classificação do agregado miúdo a partir do valor obtido de módulo de finura, verificou-se o valor de 2,79, sendo, portanto, classificado de acordo com a norma NBR 7217 (ABNT, 1982) como areia de granulometria média, pois se posiciona dentro do intervalo de $2,4 < MF < 3,2$. Ainda de acordo com esta norma, como o módulo de finura está dentro do parâmetro de 2,20 a 2,90, ele é considerado por norma como dentro de zona ótima de utilização.

A composição granulométrica do agregado miúdo desempenha papel fundamental na preparação de concretos e argamassas. As dimensões do agregado têm efeito direto sobre os vazios, no fator água/cimento e na trabalhabilidade nas misturas de concreto.

5.2.2. Caracterização física do agregado graúdo

O agregado graúdo empregado foi uma pedra britada de rocha diabásica, proveniente da pedreira explorada pela CONTEC INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA, situada no município de Pocinhos-PB.

Os resultados dos ensaios de caracterização realizados no agregado graúdo são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados da caracterização do agregado graúdo.

<i>Parâmetro Determinado</i>	<i>Valor Médio</i>
<i>Massa Unitária Compactada</i>	<i>1.505 Kg/m³</i>
<i>Massa Específica Real</i>	<i>2.860 Kg/m³</i>

Fonte: Acervo Próprio.

Da mesma forma que foi feito para o agregado miúdo, realizou-se o ensaio de granulometria também para o agregado graúdo, obtendo os resultados mostrados na Tabela 5 e a curva granulométrica exibida na Figura 15.

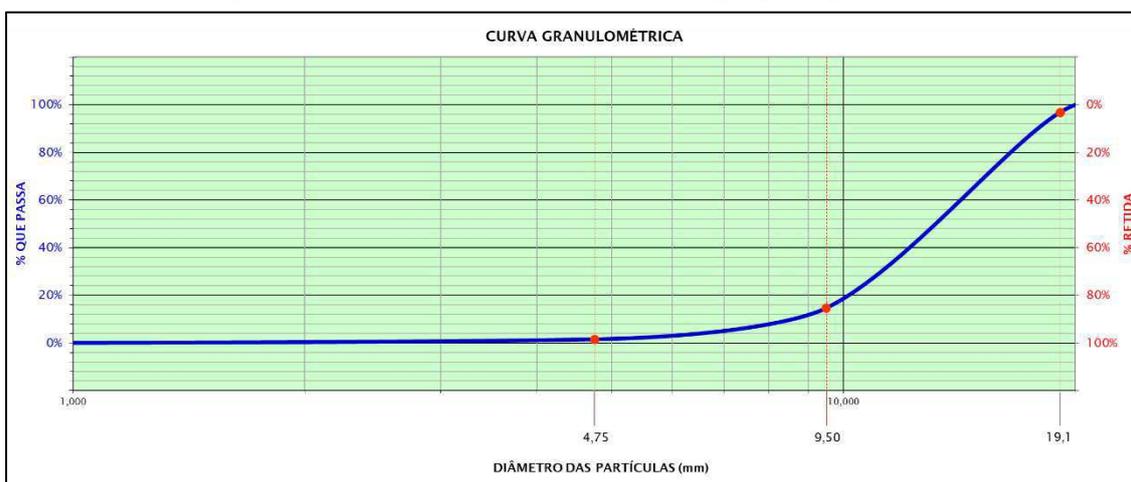
Tabela 5 – Composição Granulométrica do agregado graúdo.

Composição Granulométrica			
<i>Peneiras (mm)</i>	<i>Material Retido (g)</i>	<i>% Retida</i>	<i>% Acumulada</i>
25,4	0,0	0,0	0,0
19,1	163,5	3,27	3,27
9,5	4.106,3	82,03	85,30
4,75	653,8	13,06	100,00

Diâmetro Máximo = 19,1mm

Fonte: Acervo Próprio.

Figura 15 – Curva Granulométrica do agregado graúdo.



Fonte: Acervo Próprio.

Com o valor já esperado confirmado, obtivemos que o material ensaiado corresponde às características de dimensão máxima desejada, ou seja, 19,1mm dimensão referente a brita nº 1, comumente comercializada.

5.2.3. Caracterização físico-química e mineralógica do cimento

O cimento utilizado como aglomerante para confecção do concreto foi do tipo CP II-Z-32, Cimento Portland Pozolânico, comercializado na própria região.

As características do cimento utilizado são fornecidas pelo próprio fabricante e exibidas na Tabela 6, seguindo as especificações da ABNT NBR 11578:1991 - Cimento Portland composto.

Tabela 6 – Especificações normativas.

<i>Resumo das especificações da ABNT</i>	
Parâmetros	CP II-Z-32
<i>Tempo de início de pega (horas)</i>	≥ 1
<i>MgO (%)</i>	≤ 6.5
<i>Perda ao fogo (%)</i>	≤ 6.5
<i>Resíduo insolúvel (%)</i>	≤ 16.0
<i>SO₃</i>	≤ 4.0
Resistência à compressão (MPa)	
<i>1 dia</i>	-
<i>3 dias</i>	≥ 10.0
<i>7 dias</i>	≥ 20.0
<i>28 dias</i>	≥ 32.0
Adições permitidas (%)	
<i>Escória</i>	0
<i>Filer calcário</i>	0 a 10
<i>Material pozolânico</i>	6 a 14
* $\leq 3.5\%$ para C3A do clínquer $\leq 8.0\%$ e $\leq 4.5\%$ para C3A do clínquer $> 8.0\%$	

Fonte: ABNT 11578

5.2.4. Caracterização física do pó de serra

O pó de serra utilizado neste estudo foi coletado de uma serraria da região e era proveniente da madeira cedro. Antes de ser utilizado na produção do concreto, o resíduo da madeira foi peneirado na peneira de malha 4,75 mm (#4), sendo o resíduo que ficou retido nesta peneira descartado e o restante utilizado na pesquisa.

Foi feito também o ensaio de absorção no pó de serra (Figura 16) com a finalidade de se corrigir o fator água/cimento nos traços de concreto com adição deste resíduo de madeira, tendo em vista que a madeira absorve bastante água e, portanto, o fator a/c não poderia ser o mesmo do traço de referência. Do ensaio de absorção, obtivemos que o teor de absorção do pó de serra em estudo era de 16%.

Figura 16 – Ensaio de absorção do pó de serra utilizado na produção dos corpos de prova.



Fonte: Acervo Próprio.

5.3. Determinação do traço de referência a ser utilizado nos ensaios

A dosagem do traço de referência utilizado neste trabalho foi feita usando-se o método de dosagem de concreto da Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP.

Para a realização do cálculo de dosagem do concreto são necessários dados específicos dos materiais a serem empregados. Abaixo são listados os dados obtidos dos ensaios de caracterização para cada material utilizado nesta pesquisa:

- ***Cimento:***
 - ✓ CP II - Z 32
 - ✓ Massa específica Real (γ_c) = 2960 Kg/m³
 - ✓ Resistência Normal aos 28 dias: 32 MPa
- ***Agregado Miúdo:***
 - ✓ Módulo de Finura (MF) – 2,79
 - ✓ Massa Específica Real (γ_m) – 2610 Kg/m³
- ***Agregado Graúdo:***
 - ✓ Massa Específica Real (γ_b): 2860 Kg/m³
 - ✓ Massa Unitária Compactada (MU_c): 1505 Kg/m³
 - ✓ Diâmetro Máximo Característico (DMC): 19,0 mm
- ***Concreto:***
 - ✓ Resistência Característica (F_{ck}): 20 MPa
 - ✓ Abatimento: 40 - 60 mm
 - ✓ Massa Específica Real (γ_m) – 2500 Kg/m³
- ***Pó de serra:***
 - ✓ Teor de absorção: 16%

5.3. Processo de dosagem do concreto

Através da equação abaixo, determinamos a resistência requerida do concreto aos 28 dias de idade:

$$F_{c_{28}} = F_{c_k} + 1,65 \times sd$$

Onde:

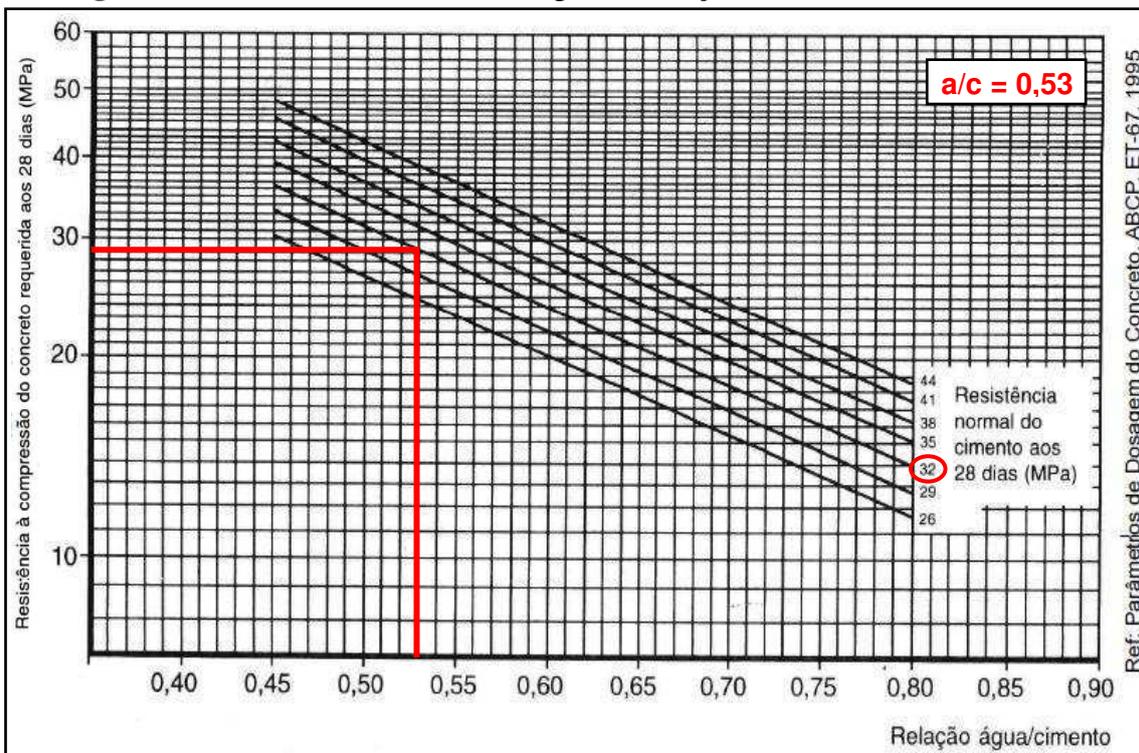
- F_{c_k} : Resistência que se deseja obter aos 28 dias – 20 MPa
- sd : Desvio padrão (para o ensaio em questão adotou-se 5,5 MPa).

Têm-se então: $F_{c_{28}} = 20 + 1,65 \times 5,5 \Rightarrow \boxed{F_{c_{28}} = 29MPa}$

5.3.2. Relação água – cimento (a/c)

De posse da resistência requerida do concreto aos 28 dias, a qual foi de 29MPa, usamos a Curva de Abrams (Figura 17) para fixar a relação água-cimento do concreto:

Figura 17 – Gráfico do consumo de água em função da resistência do concreto.



Para um Cimento Portland $32MPa$ e um $F_{c_{28}} = 29MPa$, têm-se:

a/c: 0,53

5.3.3. Determinação do consumo de água ($C_{\text{água}}$)

O consumo de água é obtido através da Tabela 7, logo abaixo:

Tabela 7 – Determinação do consumo de água em litros.

Abatimento (mm)	Dimensão Máxima Característica do Agregado graúdo (mm)				
	9,5	19	25	32	38
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

Fonte: Parâmetros de Dosagem do Concreto, ABCP, ET-67, 1995.

Assim, para um abatimento de **40 a 60mm** e um diâmetro máximo característico de **19mm**, obtêm-se um valor de **195 litros** de água por metro cúbico de mistura.

5.3.4. Determinação do consumo de cimento (C_{cimento})

O consumo de cimento é dado pela seguinte equação:

$$C_{\text{cimento}} = \frac{C_{\text{água}}}{a/c}$$

Onde:

- $C_{\text{água}}$: Consumo de água = **195 l/m³**
- a/c : Relação água-cimento = **0,53**

Substituindo os valores na fórmula, tem-se:

$$C_{\text{cimento}} = \frac{195}{0,53} = 368 \text{kg/m}^3$$

5.3.5. Determinação do consumo de agregado graúdo ($C_{\text{graúdo}}$)

Para a determinação do consumo de agregado graúdo utiliza-se a Tabela 8 abaixo:

Tabela 8 – Determinação do consumo de agregado graúdo.

CONSUMO DE DE AGREGADO GRAÚDO APROXIMADO (Kg/m³)					
Módulo de Finura (MF)	Dimensão Máxima Característica do Agregado graúdo (mm)				
	9,5	19	25	32	38
1,8	0,65	0,77	0,795	0,82	0,85
2	0,63	0,75	0,78	0,8	0,83
2,2	0,61	0,73	0,76	0,78	0,81
2,4	0,59	0,71	0,74	0,76	0,79
2,6	0,565	0,69	0,72	0,74	0,77
2,8	0,55	0,67	0,7	0,72	0,75
3	0,53	0,65	0,68	0,7	0,73
3,2	0,51	0,63	0,66	0,68	0,71
3,4	0,49	0,61	0,64	0,66	0,69
3,6	0,47	0,59	0,62	0,64	0,67

Fonte: Parâmetros de Dosagem do Concreto, ABCP, ET-67, 1995.

O consumo de agregado graúdo é dado pela equação: $C_{\text{graúdo}} = V_{\text{graúdo}} \times MU_c$

Onde:

- V_b : Volume de agregado graúdo: 0,67 m³ (encontrado pela Tabela 8 acima)
- Mu : Massa unitária compactada: 1505kg/cm³

$$\text{Efetuando: } C_{\text{graúdo}} = 0,67 \times 1505 \Rightarrow C_{\text{graúdo}} = 1008,4 \text{ Kg / m}^3$$

5.3.6. Determinação do consumo de agregado miúdo ($C_{\text{miúdo}}$)

O consumo de Agregado miúdo é dado por:

$$V_{\text{miúdo}} = 1 - \left(\frac{C_{\text{cimento}}}{\rho_{\text{cimento}}} + \frac{C_{\text{graúdo}}}{\rho_{\text{graúdo}}} + \frac{C_{\text{água}}}{\rho_{\text{água}}} \right) \quad \text{e} \quad C_{\text{miúdo}} = \rho_{\text{miúdo}} \times V_{\text{miúdo}}$$

Onde:

- $V_{\text{miúdo}}$: Volume de agregado miúdo
- C_{cimento} : Consumo de cimento
- ρ_{cimento} : Massa específica do cimento

- $C_{\text{gráudo}}$: Consumo de agregado gráudo
- $\rho_{\text{gráudo}}$: Massa específica do agregado gráudo
- $C_{\text{água}}$: Consumo de água
- $\rho_{\text{água}}$: Massa específica da água
- $C_{\text{miúdo}}$: Consumo de agregado miúdo
- $\rho_{\text{miúdo}}$: Massa específica do agregado miúdo

Efetando os cálculos, temos:

$$V_{\text{miúdo}} = 1 - \left(\frac{368}{2960} + \frac{1008,4}{2860} + \frac{195}{1000} \right) \Rightarrow V_{\text{miúdo}} = 0,328m^3$$

De posse do valor do volume de agregado calculado acima, podemos determinar o consumo do agregado:

$$C_{\text{miúdo}} = 2610 \times 0,328 \Rightarrow C_{\text{miúdo}} = 856,08 \text{ Kg / m}^3$$

5.3.7. Determinação do traço de concreto

O traço é apresentado da seguinte maneira:

$$\underbrace{\frac{C_{\text{cimento}}}{C_{\text{cimento}}}}_{\text{Proporção de cimento no traço}} : \underbrace{\frac{C_{\text{miúdo}}}{C_{\text{cimento}}}}_{\text{Proporção de areia no traço}} : \underbrace{\frac{C_{\text{gráudo}}}{C_{\text{cimento}}}}_{\text{Proporção de brita no traço}} : \underbrace{\frac{C_{\text{água}}}{C_{\text{cimento}}}}_{\text{Proporção de água no traço}}$$

Efetando os cálculos, temos:

$$\frac{368}{368} : \frac{856,08}{368} : \frac{1008,4}{368} : \frac{195}{368} \Rightarrow 1 : 2,33 : 2,74 : 0,53$$

Antes de tomar o traço calculado anteriormente como o definitivo, devemos verificar se a relação $C_{\text{gráudo}}/C_{\text{miúdo}}$ é menor que 1,5 para o traço ser aceitável. Caso não seja, devemos ajustar o traço para satisfazer a essa condição.

$$\frac{C_{\text{gráudo}}}{C_{\text{cimento}}} = \frac{2,74}{2,33} = 1,2 < 1,5 \quad (\text{OK!})$$

Como o traço passou no teste, podemos adotá-lo como o traço de referência para produção do concreto necessário a este estudo. Assim, teremos o seguinte traço final:

$$1 : 1,4 : 2,53 : 0,47 \Rightarrow \boxed{1 : 2,33 : 2,74 : 0,53}$$

5.3.8. Quantidade de cada material para os corpos de prova

Para se calcular a quantidade de material em cada corpo de prova é necessário primeiramente que se conheça as suas dimensões. Sabendo-se que o corpo de prova tem 0,10m de diâmetro e 0,20m de altura, empregamos a seguinte fórmula para encontrar seu volume:

$$Volume = Área \times Altura \Rightarrow Volume = \frac{\pi \times D^2}{4} \times Altura$$

$$Volume = \frac{\pi \times 0,10^2}{4} \times 0,2 \Rightarrow \boxed{Volume = 0,00157m^3}$$

Com o volume dos cilindros já conhecidos, é possível obter a quantidade de material necessário para preencher um corpo de prova a partir da seguinte expressão:

$$P_{concreto} = Volume \times \rho_{concreto}$$

Onde:

- $P_{concreto}$: Quantidade de material
- Volume: Volume do cilindro
- $\rho_{concreto}$: Massa específica do concreto

Efetuada os cálculos, temos:

$$P_{concreto} = 0,00157 \times 2500 \Rightarrow P_{concreto} = 3,925Kg \longrightarrow \text{Massa total para 1 corpo de prova.}$$

Como usaremos **7 corpos** de prova para o traço de referência, ou seja, o traço sem adição do pó de serra, a massa total de material usado será aproximadamente:

$$P_{total} = 7 \times P_{concreto} \Rightarrow P_{total} = 7 \times 3,925 \Rightarrow P_{total} = 27,48Kg \Rightarrow \boxed{P_{total} \approx 28Kg}$$

Dividindo a quantidade total de concreto calculada acima pelo somatório de todas as parcelas componentes do traço de concreto determinado anteriormente, obteremos

um fator que nos possibilitará encontrar as quantidades necessárias de cada um dos materiais que compõem este traço.

Desta forma, temos:

$$\frac{28}{1 + 2,33 + 2,74 + 0,53} = \frac{28}{6,6} = \boxed{4,24} \rightarrow \text{Fator para determinação das quantidades de material.}$$

Multiplicando este fator encontrado acima por cada uma das parcelas componentes do traço em questão, podemos obter as quantidades de cada material componente do traço de referência (sem adição de pó de serra):

- Quantidade de cimento: $1 \times 4,24 = \boxed{4,3Kg}$
- Quantidade de areia: $2,33 \times 4,24 = \boxed{9,9Kg}$
- Quantidade de brita: $2,74 \times 4,24 = \boxed{11,6Kg}$
- Quantidade de água: $0,53 \times 4,24 = \boxed{2,2Kg}$

Neste estudo, substituiremos parcialmente o agregado miúdo (areia) por pó de serra em teores de 10% e 25% e os resultados obtidos serão comparados com o traço de referência (sem pó de serra). Dessa forma, para cada teor de pó de serra, serão produzidos outros 7 corpos de prova cilíndricos com as mesmas quantidades de materiais utilizadas no traço de referência, porém desta vez substituindo-se parcialmente a areia por pó de serra nos teores pré-estabelecidos e corrigindo o fator a/c de acordo com o teor de absorção de 16% determinado previamente.

Assim, para o traço com **teor de 10% de pó de serra** em quantidade de agregado miúdo, temos as seguintes quantidades de materiais:

- Quantidade de cimento: $1 \times 4,24 = \boxed{4,3Kg}$
- Quantidade de areia (90%): $2,1 \times 4,24 = \boxed{8,9Kg}$
- Quantidade de pó de serra (10%): $0,23 \times 4,24 = \boxed{1,0Kg}$
- Quantidade de brita: $2,74 \times 4,24 = \boxed{11,6Kg}$
- Quantidade de água: $(0,53 \times 4,24) + (16\% \times 1) = \boxed{2,4Kg}$

Já para o traço com **teor de 25% de pó de serra** em quantidade de agregado miúdo, temos as seguintes quantidades de materiais:

- Quantidade de cimento: $1 \times 4,24 = 4,3\text{Kg}$
- Quantidade de areia (75%): $1,75 \times 4,24 = 7,4\text{Kg}$
- Quantidade de pó de serra (25%): $0,58 \times 4,24 = 2,5\text{Kg}$
- Quantidade de brita: $2,74 \times 4,24 = 11,6\text{Kg}$
- Quantidade de água: $(0,53 \times 4,24) + (16\% \times 2,5) = 2,7\text{Kg}$

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. Massa específica aparente dos corpos de prova

Uma importante propriedade física do concreto que não deve ser esquecida de ser analisada é a sua massa específica aparente, pois ela está diretamente relacionada com o peso que este concreto terá bem como com a sua resistência final.

Ao comparar os valores médios da massa específica aparente do concreto, conforme a Tabela 9, verifica-se que quanto maior o percentual de substituição de areia por serragem, menor é a massa específica aparente do concreto, ou seja, o concreto com adição do pó de serra torna-se bem mais leve. No entanto, a diminuição da massa específica afeta diretamente a resistência do concreto, tornando-o também menos resistente.

Tabela 9 – Valores médios da massa específica aparente do concreto.

<i>Teor de serragem no traço</i>	<i>Massa específica aparente (Kg/m³)</i>	<i>Redução no peso (%)</i>
0,0% (Referência)	2.376,5	-
10,0%	1.825,6	23,17
25,0%	1.580,7	33,49

Fonte: Acervo Próprio.

Da Tabela 9 acima, podemos perceber que com a substituição do agregado miúdo pelo pó de serra nas quantidades de 10 e 25% em peso, o concreto tornou-se, respectivamente, 23 e 33% mais leve quando comparado ao traço de referência (sem pó de serra).

Tal fato pode ser explicado devido à substituição parcial do agregado miúdo por um outro material (pó de serra) de peso específico muito menor que o da areia.

6.2. Consistência e trabalhabilidade dos concretos dosados

Outro parâmetro importante e que merece ser destacado está relacionado à trabalhabilidade e consistência dos concretos dosados neste estudo. Com os valores obtidos para o *slump test* através do ensaio de consistência do concreto (Tabela 10), verificou-se que o concreto de referência (Figura 18-B) apresentava valores para o slump dentro dos limites pré-estabelecidos (entre 40 e 60mm) no cálculo de dosagem do

traço, porém os concretos com substituição do agregado miúdo por serragem (Figura 18-C) apresentavam valores para o slump bem inferiores (entre 10 e 20mm) aos limites desejados, exigindo, portanto, o aumento do fator água cimento do traço para que o mesmo apresentasse uma consistência aceitável, o que, conseqüentemente, implica na diminuição dos valores de resistência à compressão.

Tabela 10 – Valores obtidos no ensaio de consistência (*Slump Test*)

<i>Teor de serragem</i>	<i>Abatimento (mm)</i>	<i>Trabalhabilidade</i>
0,0% (Referência)	50	<i>Média</i>
10,0%	20	<i>Baixa</i>
25,0%	10	<i>Muito baixa</i>

Fonte: Acervo Próprio.

Assim, pôde-se constatar que quanto maior o teor de pó de serra empregado na produção do concreto, mais ele tendia a formar pelotas durante a sua mistura na betoneira, bem como apresentar um aspecto não homogêneo e sem plasticidade, característica comum dos chamados concretos secos, tornando-o assim um concreto de trabalhabilidade inferior à do concreto tradicional.

Figura 18 – Realização do *Slump test*.



Fonte: Acervo Próprio.

6.3. Resistência à compressão axial simples dos corpos de prova

A determinação da resistência à compressão axial foi feita de acordo com a norma ABNT NBR 5739:2007 - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos - e os valores foram lidos diretamente do equipamento, como mostra a Figura 19. A resistência e a durabilidade dos concretos em geral variam de acordo com as proporções dos componentes que o formam, ou seja, está diretamente relacionado ao traço do qual esse concreto é constituído. Desta forma, através dos ensaios realizados em laboratório, constatou-se que à medida que se aumenta o percentual de areia substituída por pó de serra, os valores médios de resistência a compressão axial do concreto em estudo tendem a diminuir, fato este já esperado, devido ao aumento da relação água/cimento.

Assim, para o traço sem adição do pó de serra, considerado como traço de referência, obteve-se uma média de resistência à compressão axial de 24,98 MPa, enquanto que para os traços com 10 e 25% de areia substituída por pó de serra obtiveram-se, respectivamente, as médias de 5,9 MPa e 1,7 MPa.

Figura 19 – Ensaio de compressão axial realizado nos corpos de prova.



Fonte: Acervo Próprio.

Na Tabela 11 são apresentados os resultados médios do limite de resistência do concreto obtidos durante o ensaio destrutivo de compressão axial

Tabela 11 – Resistência média à compressão dos traços de concreto ensaiados.

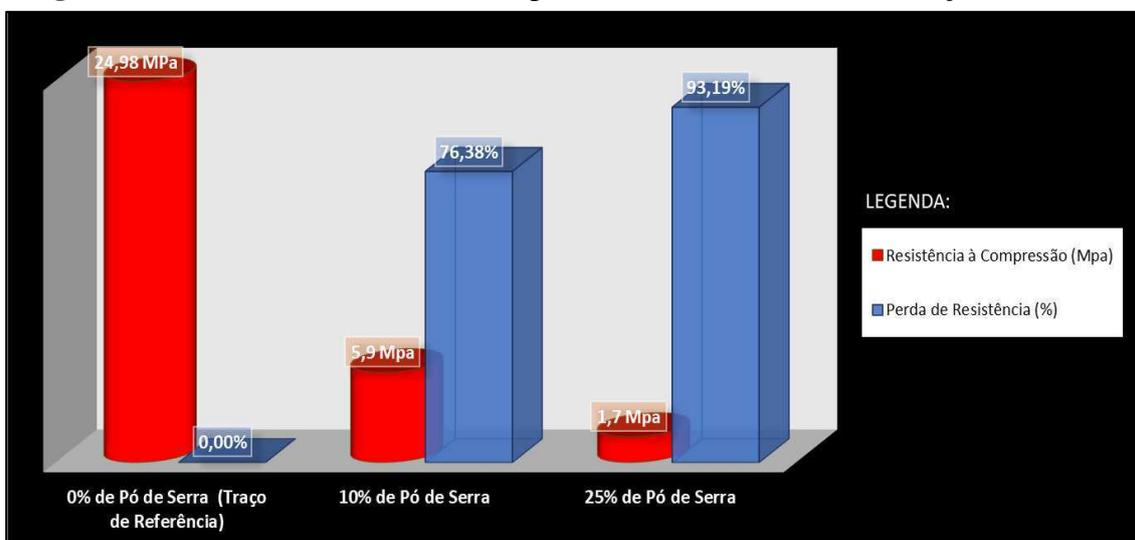
<i>Teor de substituição</i>	<i>Corpo de Prova - n°</i>	<i>Resistência (MPa)</i>	<i>Resistência Média (MPa)</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>Perda de Resistência (%)</i>
0,0% (Referência)	1	25,30	24,98	0,22	-
	2	24,90			
	3	24,70			
	4	25,00			
10,0%	8	5,80	5,90	0,26	76,38
	9	5,50			
	10	6,20			
	11	6,10			
25,0%	15	1,50	1,70	0,14	93,19
	16	1,90			
	17	1,70			
	18	1,70			

Fonte: Acervo Próprio.

Analisando os dados mostrados na tabela acima, observa-se que houve uma perda bastante expressiva na resistência à compressão dos corpos de prova com adição do pó de serra.

Como mostrado na Figura 20 logo abaixo, ao comparar-se o traço de concreto sem adição do pó de serra (traço de referência) com os traços com teores de 10 e 25% de serragem, obtiveram-se, respectivamente, reduções de aproximadamente 76% e 93% no limite de resistência a compressão axial, limitando, portanto, o uso destes dois traços apenas em elementos não estruturais.

Figura 20 – Perda da resistência à compressão axial aos 28 dias nos traços estudados.



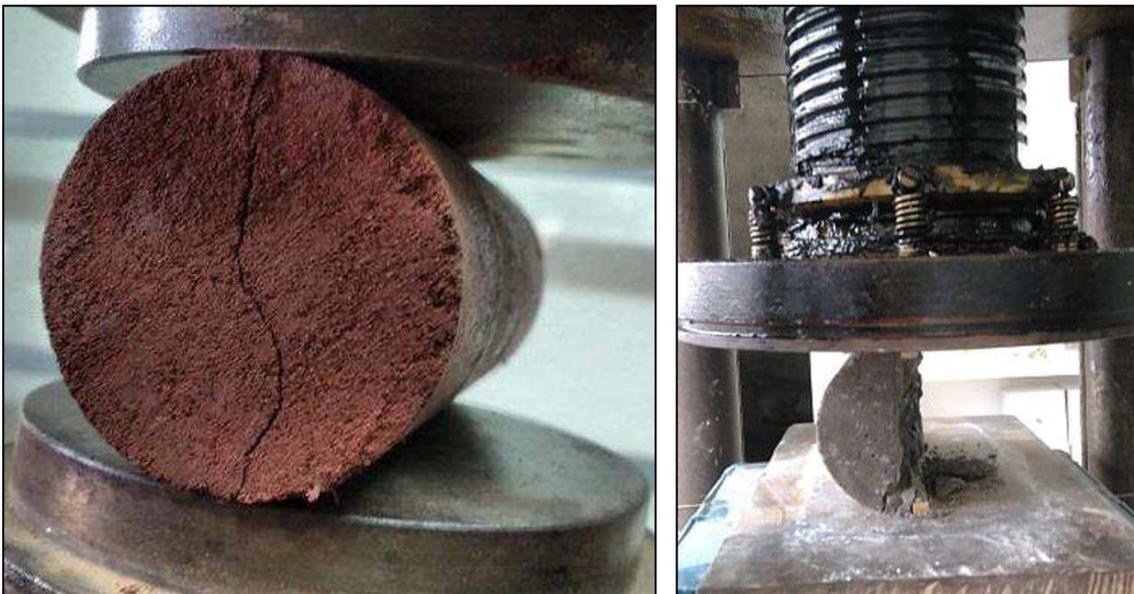
Fonte: Acervo Próprio.

6.4. Resistência à tração por compressão diametral dos corpos de prova

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral do concreto foi realizado em seis corpos de prova, sendo dois corpos para cada traço estudado, segundo as recomendações da norma ABNT NBR 7222:2011 - Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.

Para a realização deste ensaio os corpos-de-prova foram posicionados com o auxílio de ripas de madeira em uma prensa e logo em seguida foram submetidos a uma carga transversal, conforme mostrado na Figura 21. O valor de resistência à tração por compressão diametral para cada corpo de prova foi lido diretamente do próprio equipamento no momento em que houve a ruptura dos corpos de prova ensaiados.

Figura 21 – Ensaio de tração por compressão diametral nos corpos de prova.



Fonte: Acervo Próprio.

Desse modo, para o traço sem adição do pó de serra, considerado como traço de referência, obteve-se uma média de resistência à tração por compressão diametral de 2,81 MPa, enquanto que para os traços com 10 e 25% de areia substituída por pó de serra obtiveram-se, respectivamente, as médias de 0,83 MPa e 0,22 MPa.

Na Tabela 12 logo abaixo estão apresentados os resultados médios do limite de resistência do concreto para cada traço obtidos durante o ensaio destrutivo de tração por compressão diametral.

Tabela 12 – Resistência média à tração por compressão diametral dos traços ensaiados.

<i>Teor de substituição</i>	<i>Corpo de Prova - n°</i>	<i>Resistência (MPa)</i>	<i>Resistência Média (MPa)</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>Perda de Resistência (%)</i>
0,0% <i>(Referência)</i>	5	2,87	2,81	0,06	-
	6	2,84			
	7	2,73			
10,0%	12	0,78	0,83	0,04	70,48
	13	0,87			
	14	0,84			
25,0%	19	0,20	0,22	0,02	92,14
	20	0,23			
	21	0,24			

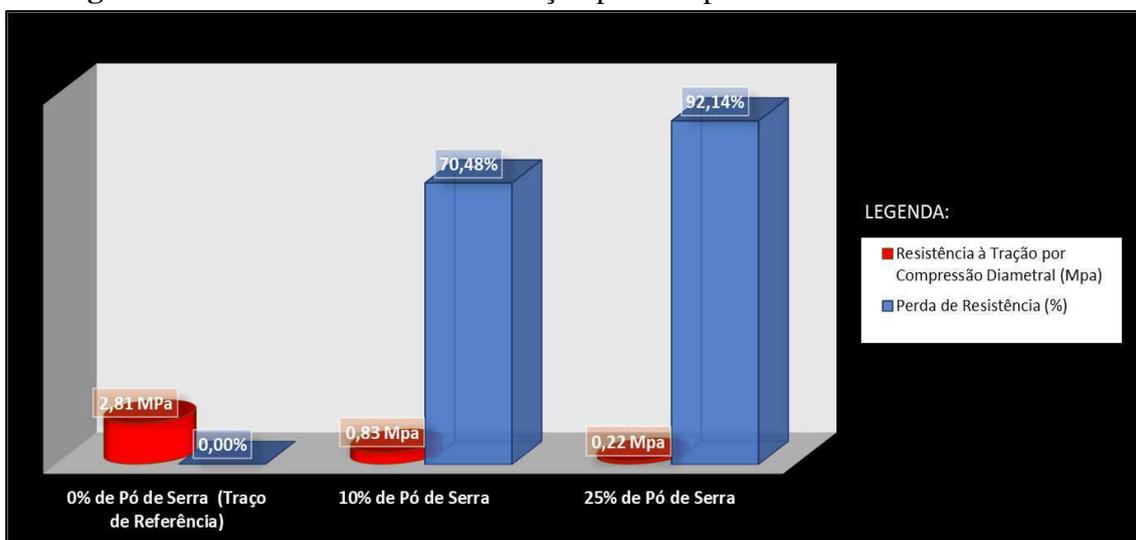
Fonte: Acervo Próprio.

Do mesmo modo em que ocorreu a redução da massa específica e da resistência à compressão axial nos traços com adição de serragem, houve também a redução da resistência à tração por compressão diametral.

Analisando os dados mostrados na Tabela 12, observa-se que houve também uma perda bastante expressiva na resistência à tração por compressão diametral dos corpos de prova com adição do pó de serra.

Como mostrado na Figura 22, ao comparar-se o traço de concreto sem adição do pó de serra (traço de referência) com os traços com teores de 10 e 25% de serragem, obtiveram-se, respectivamente, reduções de aproximadamente 71% e 92% no limite de resistência à tração por compressão diametral.

Figura 22 – Perda da resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias.



Fonte: Acervo Próprio.

Como parâmetro de análise dos dados, pode-se levar em consideração a relação matemática entre os valores de compressão e tração descritos na NBR 6118:2014, os quais nos mostram a existência de uma correlação entre os dados de tração e compressão. Logo, a partir dos dados de tração à compressão diametral obtidos experimentalmente, podemos calcular os possíveis valores para resistência à compressão, referenciando nosso resultado calculado de compressão ao valor escolhido de 20 MPa no momento dos cálculos de dosagem.

Logo, com a equação descrita em norma para concreto de classes até C50:

$$f_{ctm} = 0,3f_{ck}^{2/3} \quad \text{(Equação 1)}$$

E com os limites superior e inferior também descritos na mesma norma:

$$f_{ctk,inferior} = 0,7f_{ctm} \quad \text{(Equação 2)}$$

$$f_{ctk,superior} = 1,3f_{ctm} \quad \text{(Equação 3)}$$

Obtivemos os valores de resistência a tração, para o concreto de referência com a dosagem de f_{ck} 20 MPa, dispostos na Tabela 13.

Tabela 13 - Resistência à tração para dosagem de concreto com f_{ck} de 20 MPa.

Resistência à tração (MPa)		
f_{ctm}	$f_{ctk,inferior}$	$f_{ctk,superior}$
2,21	1,55	2,87

Fonte: Acervo próprio

Através da Tabela 12, foi possível verificar que os valores de resistência à tração obtidos experimentalmente na idade de 28 dias para os concretos com pó de serra não se enquadram dentro dos valores calculados de acordo com a NBR 6118:2014 e mostrados na Tabela 13, porém o valor obtido para o concreto de referência (sem pó de serra) está inteiramente de acordo com os limites previstos por esta norma. Assim, de acordo com a norma, os valores de resistência à tração obtidos para os traços com serragem em sua composição não são aceitáveis para trabalhar-se com elementos estruturais.

Foram calculados também os valores da resistência à compressão obtidos matematicamente através dos valores de resistência à tração obtidos experimentalmente, mostrados na Tabela 14.

Tabela 14 - Resistência à compressão calculada em relação ao f_{ctm} experimental (28 dias).

Teor de substituição	f_{ctm} (MPa) 28 dias	Resistência à compressão (MPa)		
		f_{ck}	$f_{ck,inferior}$	$f_{ck,superior}$
0%	2,81	28,67	16,79	42,49
10%	0,83	4,60	2,69	6,82
25%	0,22	0,63	0,37	0,93

Fonte: Acervo próprio

A tensão de tração obtida através das correlações da NBR 6118:2014 apresenta valores próximos daqueles obtidos experimentalmente para o traço de referência (teor de 0% de serragem). Porém os valores obtidos para os outros traços (com teores de 10 e 25% de serragem) apresentaram-se discrepantes em relação aos obtidos experimentalmente.

7. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que o concreto com adição de serragem utilizado nesta pesquisa necessitou de uma maior quantidade de água para apresentar condições de trabalhabilidade mínima. Isso se deve à introdução do pó de serra, material poroso, com alta absorção de água. Esse aumento da quantidade de água na mistura e consequente aumento da relação a/c, implicou em diminuição significativa da resistência à compressão das misturas utilizadas. Para melhorar essa característica algumas alternativas propostas são: redução do teor de serragem no traço, utilização de aditivo superplastificante ou utilização de tratamentos químicos no pó de serra que visem melhorar a compatibilidade da madeira com o cimento, elevando assim as suas propriedades físicas.

Apesar de possuir uma resistência à compressão baixa e não ser adequado para fins estruturais, segundo os estudos realizados por DANTAS (2004), o concreto com adição do pó de serra ainda assim é um material vantajoso para a utilização na construção civil, já que a redução apresentada em sua massa específica é uma característica desejada para as estruturas de um modo geral, pois reduz os esforços solicitantes gerados pelo peso próprio e consequentemente diminui os custos das construções de forma global.

Além da redução bastante significativa em sua massa específica, o concreto com adição do pó de serra possivelmente apresenta também um enorme potencial para utilização em elementos de vedação e isolamento térmico e acústico devido à baixa condutividade térmica do resíduo de madeira, sendo assim um material bastante interessante para a construção civil e que merece ser estudado mais a fundo.

O uso desse tipo de dosagem de concreto com adição de pó de serra ainda tem um retorno ambiental considerável para o meio ambiente, pois a sua utilização em elementos não estruturais como enchimento de lajes pré-moldadas (carga mínima de ruptura de 1 kN, segundo ABNT NBR 14859-1:2002) ou blocos de vedação (resistência mínima à compressão de 3 Mpa para blocos de vedação com furos na vertical, segundo a NBR 15270-1:2005). Estas seriam opções viáveis tanto do ponto de vista ambiental, quando econômico, já que ao mesmo tempo em que se reduz a quantidade de areia a ser empregada no traço, também se utilizaria o pó de serra que futuramente acabaria sendo disposto no meio ambiente.

Neste estudo não foi realizado nenhum tratamento químico no pó de serra utilizado na produção do concreto a fim de melhorar a sua compatibilidade com o cimento. No entanto, sabe-se que o emprego de tais tratamentos químicos poderia permitir maiores teores de substituição ou melhorias bastante significativas nas propriedades físicas e mecânicas do concreto, tornando-o assim um material ainda mais atraente para a construção civil.

Futuras análises do comportamento do material em estruturas reais aliadas a ajustes do traço e da granulometria podem ajudar a difundir a utilização deste tipo de concreto com adição de serragem como material na construção civil.

8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base no desenvolvimento deste trabalho, sugere-se como recomendações para trabalhos futuros:

- Determinar a absorção por imersão em água para concretos com adição de pó de serra;
- Analisar a durabilidade do concreto com adição de pó de serra para os teores estudados nesta pesquisa e para teores inferiores ao deste estudo;
- Realizar estudo comparando a resistência à compressão dos concretos com adição do pó de serra com e sem tratamento químico.
- Fazer um estudo da microestrutura do concreto com adição de pó de serra para os teores estudados nesta pesquisa e para teores inferiores ao deste estudo;
- Realizar estudo aprofundado com relação ao peso específico de concretos com adição de pó de serra;
- Realização de ensaios mecânicos em idades mais avançadas a fim de compreender os efeitos causados pelo uso do pó de serra, a longo prazo, nas propriedades do concreto.

9. REFERÊNCIAS

_____. **NBR 14859-1**: Laje pré-fabricada - Requisitos - Parte 1: Lajes unidirecionais, 2002.

_____. **NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação — Terminologia e requisitos, 2005.

_____. **NBR 5738**: Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto, 2003.

_____. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, 2007.

_____. **NBR 6118** – Projeto de Estrutura de Concreto. Procedimentos. 2014.

_____. **NBR 7217**: Determinação de composição granulométrica dos agregados. Rio de Janeiro, 1982.

_____. **NBR 7222**: Argamassa e concreto - determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994. 3 p.

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p. (BT-106)

ALBERTO, M. M. et. al. – **Compatibility of some tropical hardwoods species with Portland cement using isothermal calorimetry**. Forest products journal – vol. 50, num. 9 pg. 83-88 – 2000 – USA;

ALMEIDA, Luiz Carlos de. **Fundamentos do concreto armado**. 2002.

ALVES, J. D. **Blocos pré-moldados de concreto: práticas de dosagem e controle de qualidade**. Goiânia, GO. Universidade Federal de Goiás, 2004.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 2002, “ACI Committee 116.R-00. **“Cement and concrete terminology”**”. ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, Detroit: American Concrete Institute, 73 p.

ARAÚJO, R.C.L.; RODRIGUES, L.H.V.; FREITAS, E.G.A. **Materiais de construção**. Rio de Janeiro, 2000. (Apostila).

BASTOS, A. J. O. **Avaliação do uso de resíduo de serragem de pedra cariri (RSPC) para produção de concretos convencionais.** 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Feira de Santana.

BERALDO, A. L.; CARVALHO, J. V. **Compósito *Eucalyptus grandis* - Cimento Portland.** Scientia Forestalis, v.65, p.150-161, 2004.

BERALDO, A. L.; ROLIM, M.M. **Efeito de tratamentos sobre a resistência à compressão de compósitos cimento-madeira de reflorestamento.** In: CONGRESSO LATINOAMERICANO Y II INTERNACIONAL DE INGENIERÍA RURAL, Neuquén, Argentina, 1996. Anais. Neuquén, 1996. v.10, p. 773-778

BERTOLI, S.M.; BRITO, L.A.F. **Determinação dos coeficientes de absorção acústica de placas confeccionadas com materiais reciclados.** ENCAC, 2003- Curitiba/PR - Brasil

BOHN, K. A.; SANTOS, T. M.; GARCEZ, M. R. **Utilização de resíduo da indústria madeireira como substituição ao agregado miúdo em compósitos cimentícios.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 2013.

BORGES, A. S. et alli, 1993, **“Considerações Energéticas e Econômicas sobre Resíduos de Madeira Processada em Serraria”** – in: Anais do 1 o Congresso Florestal Pan-americano e 7 o Congresso Florestal Brasileiro (1993). Curitiba, PR: SBS – SBEF, 603-606p.

BRANCO, C. M. et al. **“Compostagem de resíduos florestais: um guia para produção de húmus através da reciclagem e aproveitamento de resíduos florestais”** - Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 28 p. (Embrapa Florestas. Documento, 87)

CAMARINI,G. et al. **Influence of cement type and curing conditions on initial absorption of concrete,** High-Performance Concrete, Proceedings Second CANMET/ACI International Conference, Gramado/RS, Brazil, 1999.

CARVALHO, J. V. **Aproveitamento de resíduos particulados da madeira de Eucalipto Grandis na fabricação de compósitos a base de cimento Portland.** 2000. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2000.

CINCOTTO, M.A. **Utilização de subprodutos e resíduos na indústria da construção civil.** Construção. São Paulo, PINI n. 1855, pg 27-30, ago., 1988

DANTAS FILHO, P. F. **“Contribuição ao estudo para aplicação do pó de serra da madeira em elementos de alvenaria de concreto não estrutural.”** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Campinas - 2004

FARIAS, L. A.; LOPES, Anne Neiry Mendonça; STIVAL, Max Lany. **Ensaio de Tração Direta em Corpos de Prova de Concreto: Uma Revisão Bibliográfica.** In: 45º Congresso Nacional do Concreto, 2003, Vitória, 2003.

FONTES, P. J. P., 1994, **“Autossuficiência Energética em Serraria de Pinus e Aproveitamento dos Resíduos”**, dissertação de Mestrado do curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

GARCEZ, M. R.et al. **Propriedades físicas de compósitos cimento-madeira com serragem de Pinus elliottii tratada.** Ciência da Madeira, v. 7, n. 2, p. 70-80, 2016b.

GARCEZ, M. R.; SANTOS, T.; GATTO, D. A. **Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos pré-moldados com adição de serragem em substituição ao agregado miúdo.** Ciência & Engenharia, v. 22, p. 95-104, 2013.

GRANDI, L. A. C. **O uso do pó de serra como material de construção em misturas secas e argamassa.** 1991. 92f. Tese (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

GRANDI, L. A. C. **Placas pré-moldadas de argamassa de cimento e pó de serra.** Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1995.

HELENE, P.; ANDRADE, T. **Concreto de cimento Portland. Cap. 29.** São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto: IBRACON. 2010.

HELENE, P. R. L., TERZIAN, P. **Manual de Dosagem e controle do concreto.** Editora Pini, Brasília, DF, 1992.

IBRACON, Revista Concreto & Construções. **Concreto: O Material construtivo mais usado no mundo.** Ano XXXVII, Nº 53. São Paulo, 2009

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento.** 102 p. São Paulo, 2000. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

LATORRACA, J. V. F.; SILVA, G. C. **Compósitos cimento-madeira de eucalipto.** In: Seminário de Produtos Sólidos de Madeira de Eucalipto. Belo Horizonte. Anais. Viçosa: SIF: UFV, 2003. p. 130-142, Editores: Silva, J. de C.; Gomes, J. M.

LIMA, A. J. M. de. **Influência de três tipos de tratamentos físicos na resistência à compressão de compósitos cimento-madeira à base de resíduos de serraria.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Belém – PA, 2005, 112p.

LIMA, A. J. M. de. **Utilização de resíduo de Pinus spp e materiais cimentícios alternativos na produção de blocos para alvenaria estrutural.** 282 f. Curitiba, 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

LIMA, C. et al. **Concreto e suas inovações.** Maceió, 2014.

LODI, Victor Hugo. **Viabilidade técnica e econômica do uso de areia de britagem em concretos de cimento portland na região de Chapecó – SC.** Dissertação (Pós-Graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina convênio Unochapecó, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2006. Disponível em: <http://www.basalto.eng.br/dissertacao_vhl_vs_final.pdf>. Acesso em 25 fev. 2017.

MACÊDO, A. et al. **Análise estatística do comportamento mecânico à compressão do compósito cimento-madeira.** Revista Matéria, v. 16, n. 2, p. 658-667, 2011.

MACÊDO, A.B.; BORDIGNON, J.L.; VALVERDE, F.M. **A Mineração de Areia na Região Metropolitana de São Paulo.** São Paulo, DNPM, Pró-Minério, SNM/CPRM, IPT, EMPLASA, CETESB. 16p, 1985

MATOSKI, A. **Utilização de pó de madeira com granulometria controlada na produção de painéis de cimento-madeira.** 187 f. Curitiba, 2005. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994.

MOREIRA, A. B.; SOUZA, P. S. L.; MACÊDO, A. N. **Comportamento mecânico à compressão de blocos de concreto para alvenaria compostos com pó de serra em função do tratamento adotado no resíduo**. 14p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) - Universidade Federal do Pará. Pará, 2011.

O CONCRETO COMO MATERIAL CONSTRUTIVO: DA ORIGEM ÀS NOVAS TECNOLOGIAS. Civilização Engenharia. Disponível em < <https://civilizacaoengenharia.wordpress.com/2012/11/07/o-concreto-como-material-construtivo-da-origem-as-novas-tecnologias/>>. Acesso em: 24 fev. 2017.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. São Paulo: Pini, 1982. 738p.

PEDROSO, Fábio Luís. **Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem**. Concreto e Construções, Mar. de 2009. Disponível em: <http://www.ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_53.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2017

PETRUCCI, E. G. R., **Concreto de cimento Portland**. São Paulo, 1998.

PINHEIRO, L. M.; MUZARDO, C. D.; SANTOS, S. P. Características do Concreto. In: PINHEIRO, Libânio M.. **Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2007. Cap. 2.

RIGO, Célio Sebastião. **Utilização do pó de serra para cura do concreto**. 6p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) – Instituto Federal do Mato Grosso. Cuiabá, 2014.

SANTANA, L. L.; COSTA, F. N. **Análise da resistência à compressão de concretos com cura úmida e sem cura**. Materiais de Construção. Engenharia Civil, Universidade Católica de Salvador, Salvador, BA, 2009.

SANTOS, Sílvia. **Concreto com sustentabilidade**. Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Santa Catarina, Nov. de 2013. Disponível em: < <http://www.crea-sc.org.br/portal/index.php?cmd=artigos-detalle&id=2660>>. Acesso em: 25 dez. 2017.

SCOBAR, Renan Luna. **Concreto leve estrutural: substituição do agregado graúdo convencional por argila expandida.** 45p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2016.

SIMATUPANG, M.H.; SCHWARZ, H.G.; BRÖKER, F.W. **Small scale plants for the manufacture of mineral-bonded wood composites.** In: WORLD FORESTRY CONGRESS, 8, Jakarta, 1978. Proceedings. Jakarta, 1978. v.6, p.98-120.

VALIN JR, Marcos de Oliveira., LIMA, Sandra Maria de. **Influência do Procedimento de Cura na Resistência e Absorção de Concreto.** In: 51º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2009, Curitiba – Pr. Concretos para Infraestrutura Sustentável. São Paulo: IBRACON, 2009.

ZENID, Geraldo José. **Madeira: uso sustentável na construção civil.** 2. ed. São Paulo: IPT, 2009. 99p. (IPT Publicação 3010)