INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE MADEIRA COMO AGREGADO MIÚDO SOBRE O DESEMPENHO MECÂNICO DE BLOCOS DE PISO INTERTRAVADO

WASILEWSKI, André Eliano
FARIA, Michela Steluti Poleti

RESUMO

Este projeto experimental contém dados obtidos de pesquisa relacionado a produção de blocos de piso intertravado e suas etapas, incluindo processo de execução brevemente citado, apresentará também dados sobre a influência da adição de resíduos de madeira no processo produtivo. Com o objetivo de analisar a substituição parcial e integral do agregado miúdo convencional pelo resíduo de madeira, o presente trabalho foi realizado através de um comparativo entre os processos de produção e o desempenho mecânico das peças produzidas e verificar sua viabilidade produtiva, visando determinar um destino correto para o subproduto da madeira uma vez que é considerado um material poluente. Foi adotado uma série de processos de pesquisa de outros artigos e projetos já existentes, relacionados a composição do concreto seco, utilizado na produção de blocos de piso intertravado

Palavras-chave: Piso Intertravado; Concreto Seco; Resíduo de Madeira; Compressão.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Dantas Filho (2004) a construção civil e a indústria, como geradora de um grande volume de resíduos, cada vez mais, vem despertando a conscientização da necessidade da realização de estudos com o objetivo de otimizar o ciclo de produção e destinar corretamente os resíduos. A utilização dos resíduos de madeira em substituição parcial ou total do agregado miúdo mineral na composição do concreto para produção de blocos, influência e contribui para um programa efetivo de reciclagem, diminuindo a demanda dos agregados minerais.

Como afirma Tuoto (2009) os resíduos de madeira resultantes do processo industrial e urbano da madeira são amplamente produzidos no Brasil, devido à grande

André Eliano Wasilewski Graduando do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário UNISOCIESC, andreelianowasilewski@hotmail.com;
Professora orientadora: Michela Steluti Poleti Faria, Centro Universitário UNISOCIESC

Joinville – SC, 24 de Novembro de 2021.

atividade madeireira presente no nosso país, por conta disso a possível utilização de resíduos de madeira como agregado miúdo no processo de produção do concreto para fabricação de blocos de piso intertravado, pode ser uma alternativa interessante para a destinação desses resíduos, uma vez que são considerados subprodutos poluentes, a Tabela 1 apresenta os dados em relação a fonte geradora/quantidade de resíduos de madeira produzidos por ano.

Tabela 1 – Relação Fonte Geradora/Quantidade de Resíduos Produzidos Por Ano

FONTE GERADORA	RESÍDUOS DE MADEIRA (1.000 t/ano)	%
Indústria Madeireira	27.750	90,7
Construção Civil	923	3,0
Meio Urbano (poda de árvore urbana)	1.930	6,3
TOTAL	**30.603**	**100,0**

Fonte: TUOTO (2009).

O projeto de pesquisa tem como objetivo estudar a viabilidade do uso de resíduos de madeira no processo de produção de blocos de piso intertravado, comparar com o método de produção convencional e analisar possível vantagem ou desvantagem no uso desse subproduto. Registrar o processo produtivo, realizar os ensaios determinados em norma ABNT NBR 9781 (2013), verificar a resistência mecânica obtida nos ensaios, direcionar corretamente os resíduos de madeira provenientes do processo industrial.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão abordados tópicos importantes neste trabalho, sendo apresentadas as relações dos materiais utilizados no processo de fabricação dos blocos de piso intertravado bem como sua aplicação. Visando garantir um melhor entendimento, serão aprofundadas as características quando as propriedades físicas e detalhes dos componentes utilizados na produção do concreto seco destinado a fabricação dos blocos de piso intertravado.

2.1 BLOCOS DE PISO INTERTRAVADO

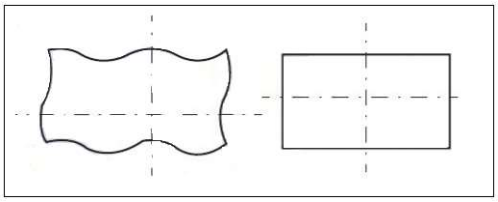
Como afirma Fernandes (2008), paver ou peças de concreto para pavimentação, são peças pré-moldadas de concreto, com a finalidade de construção de pavimentos e

calçadas. A camada superficial deve apresentar características confortáveis para o trânsito de pedestres, e deve possuir resistência mecânica superior a 35 Mpa, para suportar o trânsito de pedestres e veículos, podendo chegar à resistência mecânica de até 50 Mpa ampliando assim a sua aplicação prática.

Segundo ABNT NBR 9781 (2013) as peças de concreto com finalidade de pavimentação são classificadas em quatro tipos.

a) Tipo 1: Peças de concreto com formato retangular, que se arranjam entre si nos quatro lados e podem ser assentadas em fileiras ou em espinha de peixe.

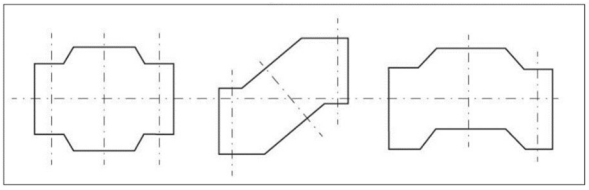
Figura 1 – Pavimento Tipo 1



Fonte – NBR 9781 (ABNT, 2013).

b) Tipo 2: Peças de concreto em formato único, só podem ser assentadas em fileira.

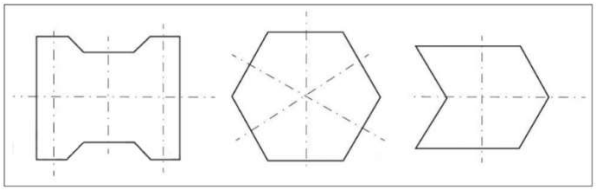
Figura 2 – Pavimento Tipo 2



Fonte – NBR 9781 (ABNT, 2013).

c) Tipo 3: Peças de concreto com formatos geométricos característicos, como trapézios, hexágonos, triedros etc., com peso superior a 4kg.

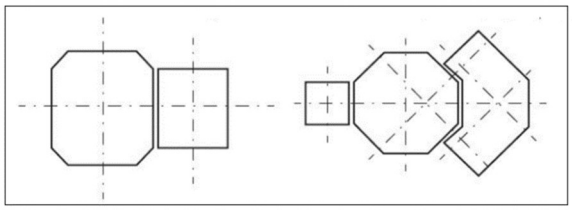
Figura 3 – Pavimento Tipo 3



Fonte – NBR 9781 (ABNT, 2013).

d) Tipo 4: Conjunto de peças de concreto de diferentes tamanhos, ou uma única peça com juntas falsas, que podem ser utilizadas com um ou mais padrões de assentamento.

Figura 4 – Pavimento Tipo 4



Fonte: NBR 9781 (ABNT, 2013).

Segundo ABNT NBR 9781 (2013) as dimensões dos blocos de piso intertravado devem atender as seguintes características:

a) Comprimento nominal de no máximo 250mm.
b) Medida nominal de largura no mínimo 97mm, para estar de acordo com o exigido para execução do teste de compressão.
c) Medida nominal da espessura, mínimo de 60mm sendo especificada em múltiplos de 20mm.
d) Tolerância dimensional de +-3mm para comprimento, largura e espessura.

Segundo ABCP (2010), a produção dos blocos de piso intertravado é feita industrialmente, em vibro prensas que são responsáveis por proporcionar elevada compactação às peças, com a finalidade de aumentar sua resistência mecânica e durabilidade. Logo após a moldagem nas vibro prensas, as peças são armazenadas em câmaras que mantém a umidade relativa acima dos 95%, dessa maneira ocorre a hidratação do cimento e garante menor absorção de água na peça, ficando por volta de 24 horas na câmara e posteriormente dependendo das condições industriais, de 7 a 28 dias no pátio. O processo industrializado possui algumas vantagens quanto ao processo manual, uma vez que através do uso de maquinários específicos e mão de obra especializada o resultado quanto a resistência mecânica e as características estéticas é garantido.

2.2 PROPRIEDADE MECÂNICA REQUERIDA

A ABNT NBR 9781 (2013) determina um valor mínimo de resistência a compressão que os blocos utilizados para pavimentação precisam alcançar nos testes e ensaios, quanto a solicitação. A Tabela 2 apresenta os dados quanto a norma:

Tabela 2 – Resistência Mínima Quanto a Solicitação

Resistência mínima quanto a solicitação	
Solicitação	**Resistência característica à compressão (fpk) aos 28 dias**
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha	≥ 35
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados	≥ 50

Fonte: NBR 9781 (ABNT, 2013).

Diante da resistência mínima de compressão quanto a solicitação determinada pela ABNT NBR 9781 (2013) observa-se que o bloco possui elevada resistência a compressão, podendo ser utilizado em uma enorme variabilidade de aplicações, viabilizando pavimentos intertravados para diferentes finalidades.

O ensaio de compressão deve ser realizado utilizando uma Máquina de ensaio que atenda os valores máximos admissíveis determinados pela ABNT NBR ISO 7500-1 (2016), o corpo de prova deve ser posicionado com o eixo coincidindo com o eixo da máquina, fazendo com que a resultante das forças passe pelo centro do bloco e as medidas das peças a serem comprimidas devem ser informadas e especificadas.

Segundo ABNT NBR ISO 7500-1 as peças do lote que passará pelo teste de compressão devem estar dentro de algumas condições no momento do ensaio:

a) Saturadas em água a (23 +- 5) Graus Celsius, por no mínimo 24 horas antes do teste de compressão;
b) As superfícies que serão comprimidas deves ser retificadas;
c) As peças devem ser posicionadas nas placas auxiliares de ensaio, face superior diretamente em contato com a placa superior, mantendo o eixo vertical passando pelo centro das duas placas, na região da peça que apresenta largura mínima de 97mm.

2.3 PISO INTERTRAVADO

O piso intertravado é composto por peças de concreto produzidas industrialmente, através de processos mecânicos diminuindo assim os custos, e garantindo qualidade e alto desempenho mecânico. Quando assentados e compactados de maneira correta formam uma pavimentação intertravada e flexível, e é caracterizada como a evolução de antigos calçamentos feitos com paralelepípedo e outros tipos de pedra.

Intertravamento do piso é definido como a capacidade que uma peça integrante do todo tem de resistir e transmitir às peças ao lado os esforços provenientes do tráfego, podendo ser verticais, horizontais e de rotação e giração. A técnica de pavimentação através de blocos de piso intertravado só chegou no Brasil na década de 70, desde então tem sido muito utilizada e evoluiu consideravelmente.
(T&A BLOCOS E PISOS, 2010)

2.4 COMPOSIÇÃO DO PISO DE BLOCO INTERTRAVADO

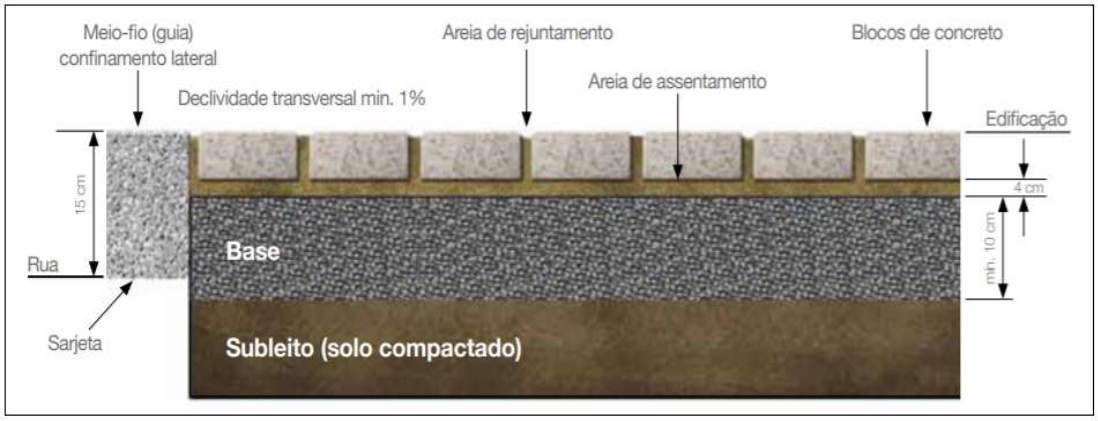
Segundo ABCP (2010) são partes componentes do piso de bloco intertravado: o subleito, a base, a camada de assentamento, a camada de revestimento e as faixas de confinamento. O processo de execução pode variar principalmente devido ao estado físico do subleito e da base, podendo ser refeito com materiais específicos, para garantir o perfeito nivelamento e processo de intertravamento das peças que compõem o piso intertravado. Constituem as camadas essenciais para o assentamento das peças do piso intertravado:

a) Subleito: Solo natural, quando em perfeito estado o processo parte para o nivelamento da base, caso necessário pode ser utilizado solo de aterro para nivelar, subleito deve ser compactado em camadas de 15cm;
b) Base: Material granular, com espessura mínima de 10 cm, comumente utilizada pedra brita média, deve ser compactado;
c) Cama de Assentamento: Composta por material granular, comumente utilizado o “pó de pedra” ou areia média, camada responsável pelo nivelamento dos blocos e variação da espessura do piso, por isso não deve ser utilizado para preencher possíveis falhar na base;

d) Camada de Revestimento: Camada composta pelos blocos do piso intertravado, onde a areia ou “pó de pedra” são responsáveis pelo “rejuntamento” dos blocos.
e) Faixas de confinamento: O confinamento dos blocos intertravados se faz extremamente necessário e essencial, devido a trabalhabilidade e assentamento dos blocos do piso, o confinamento é comumente feito com blocos de concreto popularmente conhecidos como “meio fio”, mas também pode ser utilizada alguma estrutura ou edificação já existente, como uma viga baldrame por exemplo.

A estrutura do piso de bloco intertravado segundo ABCP (2010) é disposta como demostrado na Figura 5.

Figura 5 – Estrutura de Pavimento Intertravado



Fonte: ABCP (2010).

2.5 CONCRETO SECO

O concreto seco é definido como um concreto com teor de umidade bastante reduzido, com consistência quase seca onde a água exerce uma função primordial ao participar das reações de hidratação do cimento, possuindo abatimento zero. Diferente do concreto plástico, o concreto seco é caracterizado por uma presença significativa de ar, na formulação do concreto seco a relação predominante não é água/cimento, e sim o teor de umidade da mistura que deve variar de 5% a 8% de massa total. Há a necessidade da retirada da massa de ar, utilizando maquinário que confere conformidade às misturas através de vibração, destaca-se a importância de utilizar equipamentos com ótimo desempenho para realizar essa retirada de vazios entre os agregados e garantir uma produção de qualidade. (FERNANDES, 2008)

Seguindo os parâmetros determinados pela ABNT NBR 7211 (2019) deve-se usar agregados provenientes de processo industrial, de procedência natural ou reciclado tendo em vista que deve atingir aos esforços de solicitação determinados pela norma.

2.6 COMPONENTES DO CONCRETO SECO

Como afirma Fernandes (2008) Visando garantir uma efetividade na velocidade de produção no processo industrial utiliza-se principalmente o Cimento Portland de Alta resistência inicial (CP – V – ARI).

Como afirma Marchioni (2012) pode-se produzir peças de concreto utilizando cimentos compostos, classificados em 40Mpa, alcançando maiores resistências com menos idade, levando em consideração que algumas alterações no processo de cura devem ser realizadas para efetivar o ganho de resistência e não ocasionar perda de material.

Segundo Schvaickardt (2018) as propriedades dos agregados utilizados na composição do concreto seco com a finalidade de produzir blocos de piso intertravado, tem função determinante na mistura e influenciam diretamente nas propriedades mecânicas do bloco, a Tabela 3 determina as características dos agregados miúdo e graúdo presentes na coposição do concreto utilizado atualmente na produção dos blocos.

Tabela 3 – Características Físicas dos Agregados

Ensaio	Norma	Agregado miúdo	Agregado graúdo
Dimensão Máxima Característica – DMC	ABNT NBR NM 248 (2001)	4,75 mm	9,50 mm
Módulo de Finura – MF	ABNT NBR NM 248 (2001)	3,11	5,89
Massa unitária de material no estado solto	ABNT NBR NM 45 (2006)	1,74 kg/dm³	1,5 kg/dm³
Teor de umidade total	ABNT NBR 9939 (2011)	3,13 %	1,65 %
Índice de forma pelo método do paquímetro	ABNT NBR 7809 (2006)	-	Dispensado

Fonte: SCHVAICKARDT (2018)

Ainda em relação a granulometria dos agregados miúdo e graúdo utilizados nos traços de concreto, deve-se obrigatoriamente seguir as normativas presentes na ABNT NBR 7211 (2009) que especifica os equipamentos e os métodos de análise desses agregados, garantindo sua integridade no processo de produção do concreto.

Segundo CMN NM 137 (1998) A água utilizada para a produção do concreto deve estar livre de impurezas, para que não ocorra nenhum tipo de reação indesejada.

2.7 RELAÇÃO DOS COMPONENTES DO CONCRETO SECO

Comparando os estudos de outros autores referente ao traço do concreto, buscou-se base em resultados que tenham atingido a característica de resistência aos 28 dias acima de 35 Mpa, conforme exigido na NBR 9781 (ABNT, 2013).

Na Tabela 4 produzida por Schvaickardt (2018) temos os resultados obtidos pelos autores mencionados, com determinação do traço utilizado em massa, sendo relevante que somente Vargas (2002) utilizou como aglomerante Cimento Portland – II (CP-II), enquanto os outros autores utilizaram o Cimento Portland – V – ARI (CP-V-ARI).

Tabela 4 – Pesquisa Bibliográfica de Traços Experimentais

Identificação do traço	Cimento	Areia média	Areia fina	Pedrisco	Total de agregados	Relação a/c	Teor de argamassa (α)	Resist. à compr. 28 dias
	Kg	Kg	kg	kg	kg			MPa
MACHADO (2015)	1	2,27	1,27	0,91	4,45	0,31	0,83	39,60
HOOD (2006)	1	2,67	0,67	1,16	4,50	0,37	0,79	38,64
VARGAS (2002)	1	1,69	2,42	1,02	5,13	0,42	0,83	37,00
CRUZ (2003)	1	2,50	0,83	1,08	4,41	0,31	0,80	36,90
SANTOS (2012)	1	1,71	0,93	1,17	3,81	0,35	0,76	36,74

Fonte: SCHVAICKARDT (2018)

Ainda baseado nos estudos do artigo publicado por Schvaickardt (2018), Schvaickardt (2018) produziu dois traços de concreto dosados em massa, a fim de testá-los quanto a compressão do bloco para verificar o alcance ou não da resistência solicitada em norma para compressão, como exemplificado na Tabela 5.

Tabela 5 – Traços definidos pelo autor (Charles Miguel Schvaickardt)

Identificação do Traço	Cimento		Areia	Pedrisco	Total de agregados	a/c	Teor de argamassa (α)
	Tipo	kg	kg	kg	kg		
4A	CPV-ARI	1	2,50	2,50	5,00	0,32	0,58
6A	CPV-ARI	1	3,00	1,00	4,00	0,32	0,80

Fonte: SCHVAICKARDT (2018)

Após a realização dos ensaios necessários Schvaickardt (2018) conclui-se que o traço mais adequado é o traço 4A, como demonstrado na Tabela 6:

Tabela 6 – Análise quanto as resistências solicitadas dos traços 4A e 6A

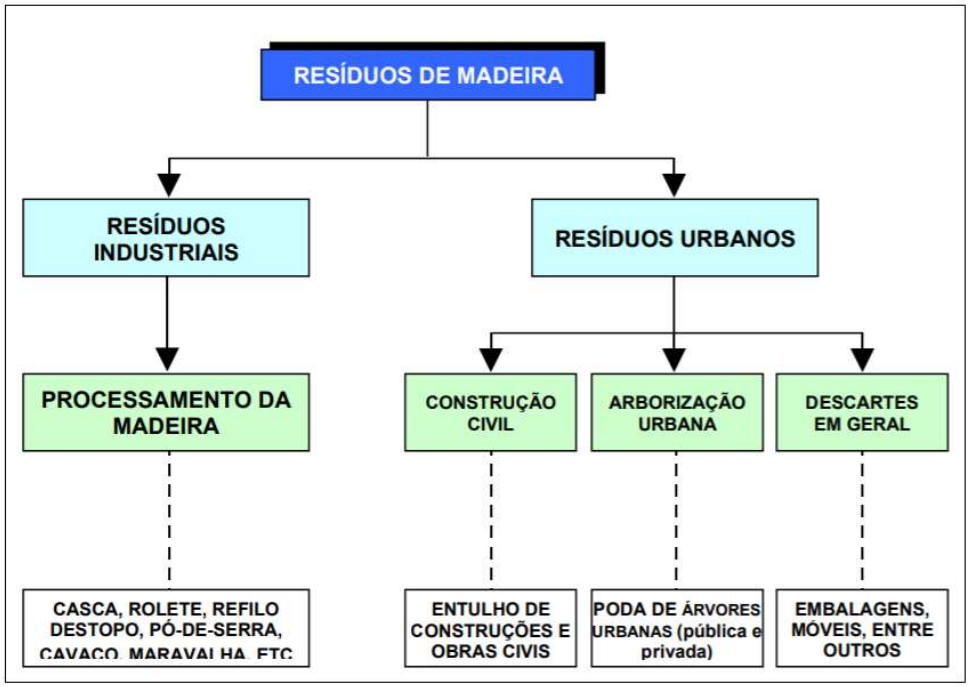
Identificação do traço	Ensaios aplicados nas peças de concreto para pavimentação							
	Avaliação dimensional dos blocos			Absorção de água		Resistência característica à compressão, aos 28 dias		
	Média		s	Média	s	Média	$f_{pk,est.}$	s
4A	Comprimento	201,64	0,85	3,25	0,12	43,69	40,31	3,68
	Largura	101,57	1,06					
	Espessura	75,11	1,41					
6A	Comprimento	200,90	1,32	4,32	0,18	33,11	30,15	3,21
	Largura	102,15	0,39					
	Espessura	75,72	0,68					

Fonte: SCHVAICKARDT (2018)

2.8 RESÍDUOS DE MADEIRA

Segundo Tuoto (2009) É classificado resíduo de madeira, todo substrato proveniente das atividades industrial e urbana do uso da madeira, essa classificação é baseada na sua fonte de geração, como especificado na Figura 6.

Figura 6 – Classificação dos resíduos de madeira quanto a fonte de geração



Fonte: TUOTO (2009)

Como afirma Tuoto (2009) esse resíduo de madeira pode ainda ser classificado quanto as suas dimensões, formas e possível reutilização. Levando em consideração as utilidades para o resíduo de madeira, existem alguns condicionantes para utilização em fins energéticos, como citados a seguir:

a) Processamento dos resíduos, transformando resíduos sólidos em particulados.
b) Estrutura de logística e infraestrutura para o escoamento da produção dos resíduos.
c) Otimização do transporte, levando da fonte geradora até a fonte consumidora sem muitas características de alteração no estado físico do resíduo.

2.9 INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DE MADEIRA NA COMPOSIÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO

Segundo Dantas Filho (2004), os resíduos de madeira são considerados substratos indesejados, se acumulando em determinadas localidades, normalmente industriais, e são descartados de maneira incorreta ou simplesmente queimados. A geração desses resíduos é considerável, podendo uma serraria de porte médio produzir até 2 mil metros cúbicos de madeira serrada por mês.

A partir do estudo de Dantas Filho (2004), o uso do pó de serra na composição substituindo integral ou parcial o agregado miúdo mineral convencional (areia), torna a redução do uso da areia considerável na produção de blocos de concreto com finalidade de vedação e na produção de elemento de enchimento de pré-lajes, tendo características mais leves e termo isolantes, sendo até 3,5 vezes mais termo isolante que o concreto convencional. Os ensaios mostraram ainda que a utilização do resíduo de madeira na composição do concreto dos blocos, aumentou a absorção sonora do material, tornando o bloco mais acústico do que o convencional.

Dantas Filho (2004) testou diversas proporções de pó de serra na composição do concreto, obtendo resultados satisfatórios quando a substituição foi de 50% do agregado miúdo da composição, aumentando resistência térmica, reduzindo peso e atingindo as normativas específicas para alvenaria de vedação.

3. METODOLOGIA

O processo de análise da atuação do concreto seco utilizado nesse projeto, foi decorrente da avaliação de todos os componentes do concreto, foram seguidas todas as normas e realizados os ensaios devidos para a caracterização dos agregados e para atestar a capacidade de resistência à compressão. Dessa maneira, foram feitas as

devidas considerações e eventuais alterações para dar continuidade ao projeto e chegar numa conclusão.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Diante dos dados obtidos em pesquisa, foram analisados os artigos referenciados e observados os processos de produção do concreto seco, como a pesquisa foi feita de natureza aplicada e descritiva, consistiu na produção do concreto seco em questão e a caracterização de todos os processos, tanto laboratoriais como de produção, sendo processos subsequentes e dependentes um do outro. Visando assim atingir resistência à compressão necessária seguindo a normativa ABNT NBR 9781 (2013) para a produção dos blocos de piso intertravado.

3.2 AMBIENTE DA PESQUISA

Os materiais utilizados na pesquisa, foram todos obtidos numa Loja de Materiais de construção, de nome GUARAMAR, localizada na cidade de Guaratuba – Pr.

São os materiais:

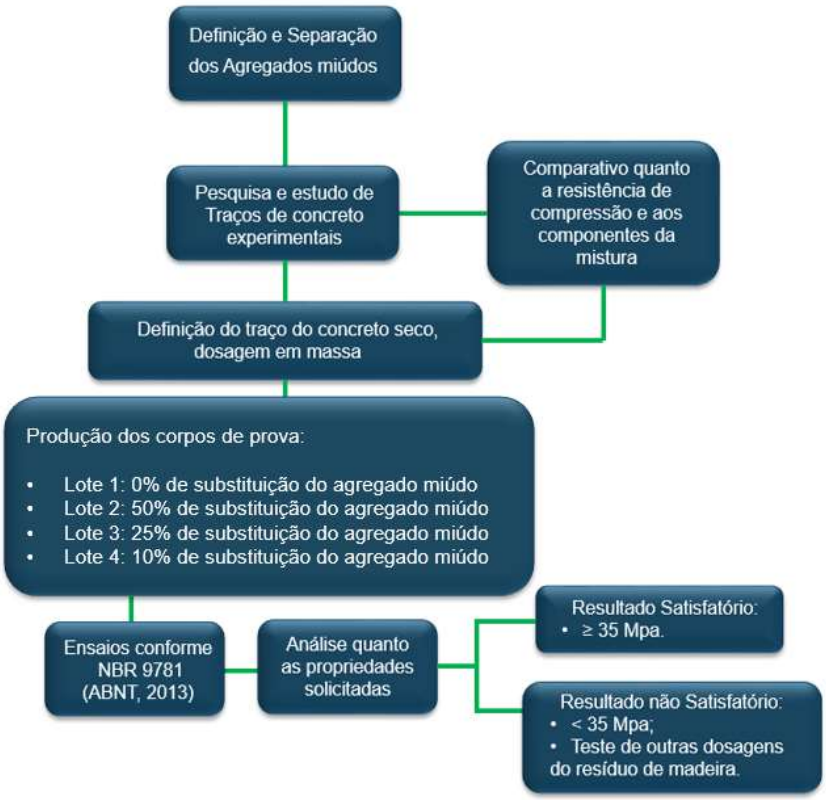
- Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP–V– ARI)
- Pedrisco (< 9,5 mm)
- Areia natural (< 4,75 mm)
- Resíduo de madeira

As análises laboratoriais quanto as características dos agregados, foram feitas no laboratório de materiais da UNISOCIESC - Campus Marquês de Olinda, Rua Gothard Kaesemodel 833, Joinville - SC. Após os dados obtidos nos ensaios conforme as normativas, foram produzidos os corpos de prova em Guaratuba – Pr, em um canteiro de obras localizado na Rua Francisco Arcega, 1441, bairro cohapar.

3.3 ETAPAS DA PESQUISA

No fluxograma apresentado na figura 7, está estruturado de forma objetiva as etapas que foram seguidas para obter os resultados desse estudo.

Figura 7 – Fluxograma do Processo Metodológico



Fonte: O Autor (2021).

Os processos Metodológicos foram divididos em duas etapas, subsequentes e dependentes, foram obtidos os resultados e posteriormente dado continuidade as análises.

3.3.1 Primeira etapa

Diante da determinação dos agregados miúdos e dos agregados graúdos na composição do concreto seco por Schvaickardt (2018), essa primeira etapa consistiu na análise e caracterização dos agregados que foram utilizados, incluindo as análises dos resíduos de madeira, conforme a Figura 8.

Figura 8 – Fluxograma do Processo Metodológico

Fonte: O Autor (2019).

A Figura 8 demonstra a sequência do processo analítico dos agregados, sendo os itens A, B e C subdivido nos processos a seguir:

1. Item A: Consistiu na obtenção dos dados relacionados as propriedades dos agregados miúdos e graúdos que já haviam sido determinados, como apresentou Schvaickardt (2018) na Tabela 3, e dos resíduos de madeira.
2. Item B: Consistiu na realização dos ensaios relacionados as propriedades físicas dos agregados pesquisados, segundo normativa ABNT NBR 7211 (2009), ABNT NBR NM 248 (2007), ABNT NBR NM 45 (2006) e ABNT NBR 9939 (2011);
3. Item C: Consistiu na caracterização dos agregados baseado nos dados obtidos no Item B.

Os ensaios que foram realizados no laboratório de materiais da UNISOCIESC foram:

- Granulometria: Utilizado na caracterização de material granular, definido pela ABNT NBR NM 248 (2007);

Figura 9 – Resíduo de madeira Antes da secagem em estufa

Fonte: O Autor (2021)

Figura 10 – Areia média antes da secagem em estufa

Fonte: O Autor (2021)

Ambos os materiais foram pesados definindo sua massa total com o recipiente e sua massa descontando a massa do recipiente, posteriormente foram submetidos a estufa durante 24 horas a 110 graus.

Figura 11 – Balança utilizada para obter a massa dos agregados

Fonte: O Autor (2021)

Figura 12 – Estufa utilizada para secagem dos agregados

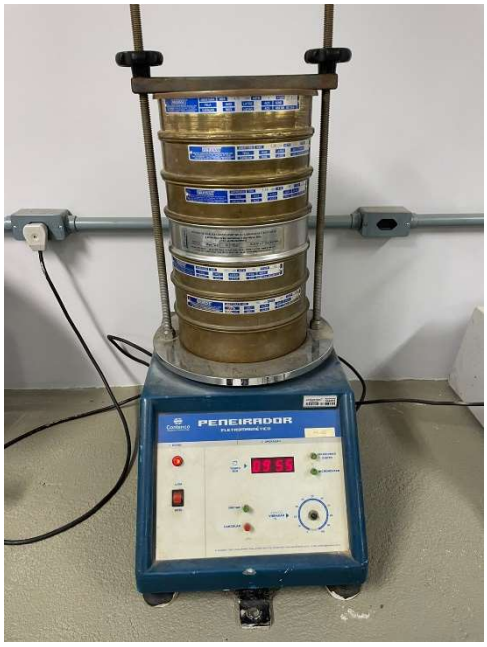
Fonte: O Autor (2021)

Após 24 horas submetidos a estufa a 110 graus, os agregados foram retirados e pesados novamente utilizando a balança referenciada na figura 11, após as anotações dos resultados de massa dos agregados, ambos foram submetidos ao peneiramento nas peneiras de série normal e colocados numa máquina vibratória por 10 minutos, como demonstrado nas figuras a seguir.

Figura 13 – Peneiras da série normal utilizadas

Fonte: O Autor (2021)

Figura 14 – Peneiras da série normal submetidas a vibração por 10 minutos



Fonte: O Autor (2021)

Após o peneiramento dos agregados na máquina vibratória, foram obtidas as massas retidas em cada uma das aberturas milimétricas das peneiras da série normal, utilizando a balança referenciada na figura 11, a partir desses dados foram montadas as tabelas 7 e 8 e obtidos os dados granulométricos dos agregados bem como o módulo de finura, o teor de umidade e a massa unitária.

- Massa Unitária: Determinação da densidade e do volume de vazios de agregados miúdos e graúdos, definido pela ABNT NBR NM 45 (2006);
- Teor de Umidade: Determinação da quantidade de água presente no material, em relação à sua massa seca, definido pela ABNT NBR 9939 (2011)
- Módulo de Finura: Com os dados do ensaio granulométrico, o módulo de finura, consiste na soma das percentagens retidas acumuladas, considerando apenas as peneiras da série normal, definida pela ABNT NBR 7211 (2009).

3.3.2 Segunda etapa

Diante dos dados obtidos nos ensaios realizados com os agregados miúdos:

a) Foi Feita uma análise comparativa das propriedades físicas dos agregados miúdos, sendo eles areia e resíduo de madeira;

b) Foi definido o processo de dosagem do concreto seco, utilizando o traço 4A conforme tabela 5;
c) Foram Produzidos os Corpos de Prova conforme normativa, utilizando 19 moldes de 10cm de diâmetro por 20 cm de altura cedidos pela UNISOCIESC, sendo a produção dividida entre amostras do traço de concreto convencional e com a substituição do agregado miúdo por resíduo de madeira;

A produção dos lotes dos corpos de prova foi dividida da seguinte forma:

a) Lote 1: 10 peças com Substituição de 0% do agregado miúdo (areia) na composição do concreto seco.
b) Lote 2: 3 Peças com Substituição de 50% do agregado miúdo (areia), por resíduo de madeira na composição do concreto seco.
c) Lote 3: 3 Peças com substituição de 25% do agregado miúdo (areia), por resíduo de madeira na composição do concreto seco.
d) Lote 4: 3 Peças com substituição de 10% do agregado miúdo (areia), por resíduo de madeira na composição do concreto seco.

Os lotes de produção dos corpos de prova foram divididos dessa forma, devido a verificação “in loco” da ineficiência do traço do concreto quando feitas as substituições do agregado miúdo areia, pelo resíduo de madeira em grandes porcentagens, visando otimizar a verificação dos ensaios de compressão que foram feitos posteriormente. Os lotes foram então produzidos utilizando o traço 4A da tabela 5.

O traço 4A segundo Schvaickardt (2018) consiste em:

a) Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP–V– ARI) = 1Kg;
b) Areia = 2,5Kg;
c) Pedrisco = 2,5Kg;
d) A/C = 0,32;

O concreto foi produzido seguindo as quantidades em Quilograma dos componentes descritos na tabela 5, substituindo na devida porcentagem o agregado miúdo areia, pelo resíduo de madeira, sendo a quantidade de água representado na

figura 15, igual para todos os Lotes. Ficando assim, os lotes de produção com os seguintes traços:

- Lote 1: Cimento Portland de Alta Resistencia Inicial (CP-V-ARI) = 1Kg;

Areia = 2,5Kg;

Pedrisco = 2,5Kg;

A/C = 0,32.

Figura 15 – Materiais utilizados na produção do lote 1

Fonte: O Autor (2021)

- Lote 2: Cimento Portland de Alta Resistencia Inicial (CP-V-ARI) = 1Kg;

Areia = 1,250Kg;

Resíduo de Madeira = 1,250Kg;

Pedrisco = 2,5Kg;

A/C = 0,32.

Figura 16 – Materiais utilizados na produção do lote 2

Fonte: O Autor (2021)

- Lote 3: Cimento Portland de Alta Resistencia Inicial (CP-V-ARI) = 1Kg;

Areia = 1,875Kg;

Resíduo de Madeira = 0,625Kg;

Pedrisco = 2,5Kg;

A/C = 0,32.

Figura 17 – Materiais utilizados na produção do lote 3

Fonte: O Autor (2021)

- Lote 4: Cimento Portland de Alta Resistencia Inicial (CP-V-ARI) = 1Kg;

Areia = 2,250Kg;

Resíduo de Madeira = 0,250Kg;

Pedrisco = 2,5Kg;

A/C = 0,32.

Figura 18 – Materiais utilizados na produção do lote 4

Fonte: O Autor (2021)

Os 4 lotes foram produzidos utilizando um molde padrão de 10 centímetros de diâmetro por 20 centímetros de altura, cedidos pela UNISOCIESC, como na figura a seguir.

Figura 19 – Molde padrão para corpos de prova

Fonte: O Autor (2021)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta unidade, serão apresentadas as análises quanto as características físicas dos agregados, comparativo entre a areia e o resíduo de madeira, sua aplicação na produção do concreto seco em diferentes porcentagens de substituição e os resultados dos ensaios de compressão dos corpos de prova, ensaios esses realizados conforme normativas.

4.1 RESULTADO DOS ENSAIOS DE GRANULOMETRIA

Foram feitos os ensaios de Granulometria da areia e do resíduo de madeira, dentro das normativas específicas para análise granulométrica definidas pela ABNT NBR NM 248 (2007). Utilizando das peneiras de série normal e todos os processos definidos na normativa, como nas tabelas 7 e 8.

Tabela 7 – Resultado do ensaio de granulometria da areia média

Peneiras (mm)	Tabela Granulométrica AREIA MÉDIA		
	Massa Retida (g)	% retida individual	% retida acumulada
4,75	1,88	0,21	0,21
2,36	16,15	1,78	1,99
1,18	212,65	23,46	25,45
0,6	285,6	31,51	56,96
0,3	244,5	26,97	83,94
0,15	112,93	12,46	96,4
Fundo	32,64	3,6	100
Total	906,35	100%	
Modulo de Finura	2,65	Somatório % retida acumulada	264,95

Fonte: O Autor (2021)

Tabela 8 – Resultado do ensaio de granulometria do resíduo de madeira

Peneiras (mm)	Tabela Granulométrica RESÍDUO DE MADEIRA		
	Massa Retida (g)	% retida individual	% retida acumulada
4,75	0,87	0,372	0,372
2,36	4,17	1,78	2,152
1,18	41,1	17,59	19,742
0,6	95,39	40,84	60,58
0,3	74,52	31,9	92,49
0,15	13,55	5,8	98,29
Fundo	3,99	1,71	100
Total	233,59	100%	
Modulo de Finura	2,73	Somatório % retida acumulada	273,626

Fonte: O Autor (2021)

4.2 RESULTADO DO MÓDULO DE FINURA DOS AGREGADOS MIÚDOS

Diante dos resultados obtidos no processo dos ensaios de granulometria, foram definidos os módulos de finura da areia e do resíduo de madeira, uma vez que essa definição depende do resultado do ensaio granulométrico e é calculada através da fórmula a seguir:

MF = Σ(% Retida acumulada) - Fundo / 100

Módulo de Finura da areia = 264,94/100

MF areia = 2,64

Módulo de Finura do resíduo de madeira = 273,626/100

MF Resíduo de madeira = 2,73

Foi concluído que tanto o módulo de finura da areia quanto do resíduo de madeira é equivalente, através da fórmula sendo classificados como agregados miúdos médios, conforme a tabela a seguir do módulo de finura:

Tabela 9 - Classificação do Módulo de Finura

Agregado	Módulo de Finura
Muito grosso	MF ≥ 3,90
Grosso	3,30 ≤ MF ≤ 3,90
Médio	2,40 ≤ MF ≤ 3,30
Fino	MF <2,40

Fonte: O Autor (2021)

4.3 RESULTADO DA MASSA UNITÁRIA E DO TEOR DE UMIDADE DOS AGREGADOS MIÚDOS

Para determinação da massa unitária e teor de umidade, os agregados, areia e resíduo de madeira, foram submetidos a estufa pelo prazo de 24 horas a temperatura de 110 graus, num recipiente padrão de 200g, conforme normativas para posteriormente serem analisados e obter os resultados apresentados nas tabelas 10 e 11.

Tabela 10 - Resultado do teor de umidade Areia Média

	TEOR DE UMIDADE DA AREIA MÉDIA			
	Massa Material (g)	Massa do Recipiente (g)	Massa Inicial Total (g)	Massa Final Total (g)
	1600	200	1800	1700
Resultado	(MIT-MFT)*100/(MFT-MR) =		(1800 - 1700) * 100 / (1700 -200) = 6,66%	

Fonte: O Autor (2021)

Tabela 11 - Resultado do teor de umidade do Resíduo de madeira

	TEOR DE UMIDADE DO RESÍDUO DE MADEIRA			
	Massa Material (g)	Massa do Recipiente (g)	Massa Inicial Total (g)	Massa Final Total (g)
	800	200	1000	800
Resultado	(MIT-MFT)*100/(MFT-MR) =		(1000 - 800) * 100 / (800 -200) = 33,33%	

Fonte: O Autor (2021)

A massa unitária da areia foi calculada utilizando um recipiente cilíndrico com 10 centímetros de diâmetro e 6 centímetros de altura, sendo o volume total do recipiente de 471,24 cm³, e a massa da areia desconsiderando a massa do recipiente foi de 641,85 gramas, dessa maneira a formula a seguir determina a massa unitária da areia média.

Tabela 12 - Massa unitária da areia média

MASSA UNITÁRIA DA AREIA MÉDIA			
Diâmetro do Recipiente (cm)	Altura do Recipiente (cm)	Volume do Recipiente (cm³)	Massa do Material (g)
10	6	471,24	641,85
MASSA UNITÁRIA = Massa do material / volume do recipiente		MU = 641,85 / 471,24 = 1,362 g/cm³	

Fonte: O Autor (2021)

A massa unitária do resíduo de madeira foi calculada utilizando um recipiente cilíndrico com 20,4 centímetros de diâmetro e 5 centímetros de altura, sendo o volume total do recipiente de 1.633,42 cm³, e a massa de resíduo de madeira desconsiderando a massa do recipiente foi de 323,23 gramas, dessa maneira a formula a seguir determina a massa unitária do resíduo de madeira.

Tabela 13 - Massa unitária do resíduo de madeira

MASSA UNITÁRIA DO RESÍDUO DE MADEIRA			
Diâmetro do Recipiente (cm)	Altura do Recipiente (cm)	Volume do Recipiente (cm³)	Massa do Material (g)
20,4	5	1.633,42	323,23
MASSA UNITÁRIA = Massa do material / volume do recipiente		MU = 323,23 / 1633,42 = 0,198 g/cm³	

Fonte: O Autor (2021)

4.4 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA

Após a retirada dos corpos de prova dos moldes, todos os exemplares do lote 2 com 50% de substituição do agregado miúdo se desmancharam, assim como os exemplares do Lote 3, como demonstrado nas figuras 20 e 21, confirmando a ineficiência da substituição da areia pelo resíduo de madeira no traço do concreto seco determinado, antes mesmo do ensaio de compressão. Somente os exemplares do lote 1, sem a substituição do agregado miúdo, e os exemplares do lote 4 com 10% de substituição resistiram e puderam seguir para a cura úmida de 28 dias submerso em água potável na UNISOCIESC como demonstrado nas figuras 22 e 23.

Após os 28 dias os corpos de prova foram submetidos aos ensaios de compressão conforme normativa, do Lote 1 todos os 10 exemplares foram submetidos ao ensaio, assim como os 3 exemplares do Lote 4, conforme figura 24.

Os resultados dos ensaios de compressão estão divididos em 3 gráficos, sendo o gráfico Número 11665 resultante do Lote 4 com 10% de substituição da areia por resíduo de madeira, os gráficos de Número 11666 e 11667 são resultantes do Lote 1, sem a substituição do agregado miúdo.

Figura 20 – Corpo de prova Lote 2 (50%) após a retirada do molde

Fonte: O Autor (2021)

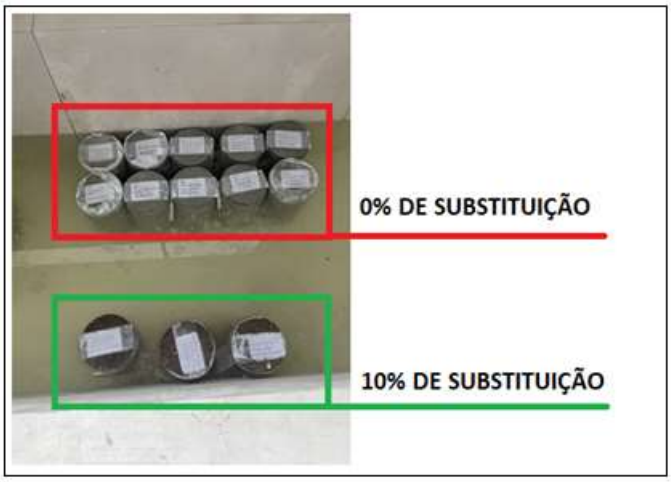
Figura 21 – Corpo de prova Lote 3 (25%) após a retirada do molde

Fonte: O Autor (2021)

Figura 22 – Corpos de prova Lote 1 (0%) após a retirada do molde

Fonte: O Autor (2021)

Figura 23 – Corpos de prova Lote 1 (0%) e Lote 4 (10%) após a retirada do molde no início da cura úmida de 28 dias



Fonte: O Autor (2021)

Figura 24 – Equipamento utilizado para ensaio de compressão dos corpos de prova

Fonte: O Autor (2021)

Gráfico 1: Resultado do ensaio de compressão dos corpos de prova com substituição de 10% do agregado miúdo

SOCIEDADE EDUCACIONAL DE SANTA CATARINA

Laboratório de Materiais de Construção

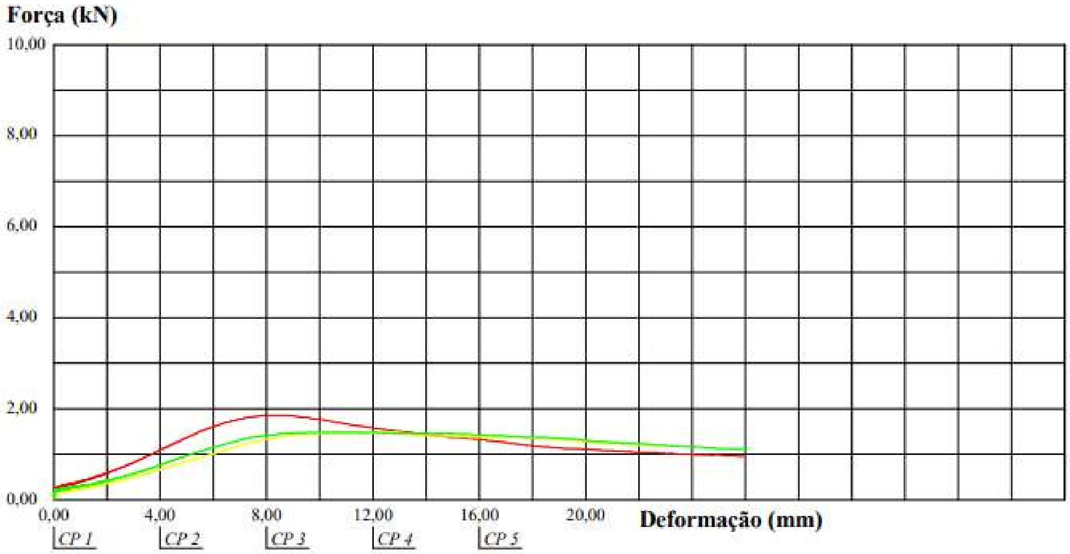
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 29** Extensômetro: - Data: **17/11/2021** Hora: **16:14:07** Trabalho nº **11665**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Edificações-Civil**

Ident. Amostra: >>Equipe: **10%** CP: **CP1, CP2, CP3**

Corpo de Prova	Área (cm2)	Força @Força Max. (kN)	Tensão @Força Max. (MPa)
CP 1	**79**	**2**	**0**
CP 2	**79**	**1**	**0**
CP 3	**79**	**1**	**0**
Número CPs	**3**	**3**	**3**
Média	**78,54**	**1,611**	**0,2051**
Desv.Padrão	**0,0000**	**0,2199**	**0,02800**
Coef.Var.(%)	**0,0000**	**13,66**	**13,66**
Mínimo	**78,54**	**1,484**	**0,1889**
Máximo	**78,54**	**1,865**	**0,2374**



Fonte: UNISOCIESC (2021)

Como observado nos resultados dos ensaios de compressão do LOTE 4, a resistência a compressão necessária mínima de 35Mpa para a utilização do traço de concreto definido anteriormente, não foi atingida. Os 3 corpos de prova tiveram resultados extremamente insatisfatórios quando a compressão, chegando num valor médio de resistência a compressão 0,2051Mpa, como evidenciado no documento acima. Dessa forma fica comprovada a ineficiência do resíduo de madeira como substituto do agregado convencional, areia média, mesmo em uma porcentagem relativamente pequena de 10%.

Gráfico 2: Resultado do ensaio de compressão dos corpos de prova sem substituição do agregado miúdo

SOCIEDADE EDUCACIONAL DE SANTA CATARINA

Laboratório de Materiais de Construção

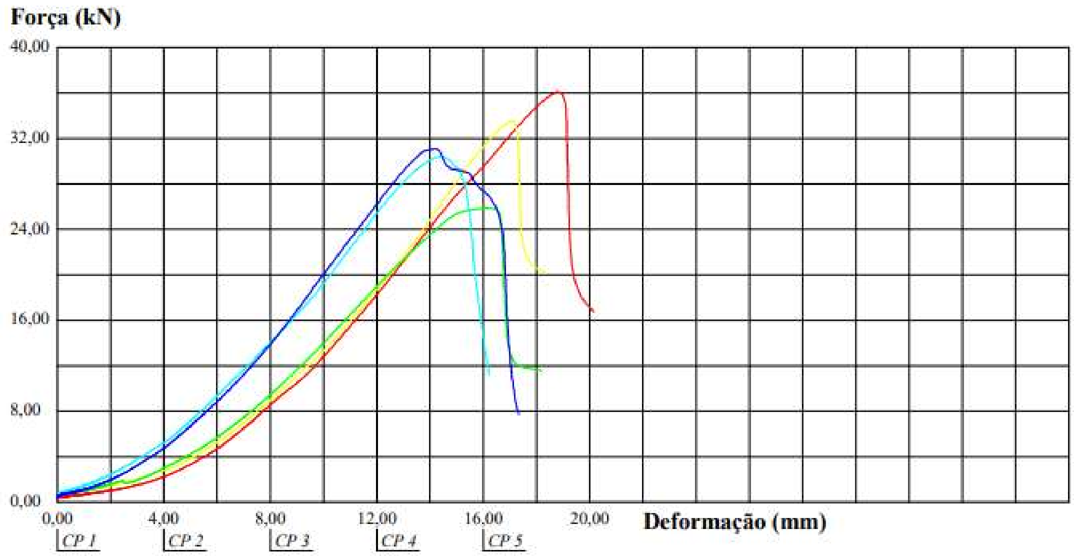
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 29** Extensômetro: **-** Data: **17/11/2021** Hora: **16:34:02** Trabalho nº **11666**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Edificações-Civil**

Ident. Amostra: >>>Equipe: **Padrão** CP: **CP1, CP2, CP3, CP4, CP5**

Corpo de Prova	Área (cm2)	Força @Força Max. (kN)	Tensão @Força Max. (MPa)
CP 1	79	36	5
CP 2	79	34	4
CP 3	79	26	3
CP 4	79	30	4
CP 5	79	31	4
Número CPs	5	5	5
Média	78,54	31,43	4,001
Desv.Padrão	0,0000	3,812	0,4853
Coef.Var.(%)	0,0000	12,13	12,13
Mínimo	78,54	25,92	3,300
Máximo	78,54	36,11	4,598



Fonte: UNISOCIESC (2021)

Gráfico 3: Resultado do ensaio de compressão dos corpos de prova sem substituição do agregado miúdo

SOCIEDADE EDUCACIONAL DE SANTA CATARINA

Laboratório de Materiais de Construção

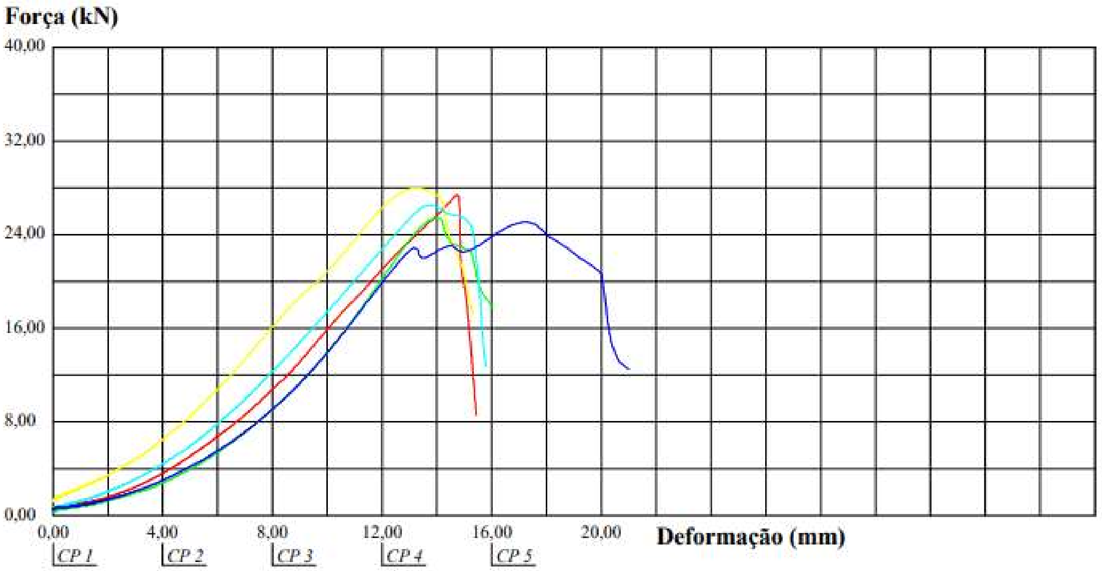
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 29** Extensômetro: - Data: **17/11/2021** Hora: **16:57:28** Trabalho nº **11667**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Edificações-Civil**

Ident. Amostra: >> Equipe: **Padrão/2** CP: **CP1, CP2, CP3, CP4, CP5**

Corpo de Prova	Área (cm2)	Força @Força Max. (kN)	Tensão @Força Max. (MPa)
CP 1	79	27	3
CP 2	79	28	4
CP 3	79	26	3
CP 4	79	27	3
CP 5	79	25	3
Número CPs	5	5	5
Média	78,54	26,51	3,376
Desv.Padrão	0,0000	1,225	0,1560
Coef.Var.(%)	0,0000	4,622	4,622
Mínimo	78,54	25,10	3,196
Máximo	78,54	28,02	3,568



Fonte: UNISOCIESC (2021)

Como observado nos resultados dos ensaios de compressão do LOTE 1, a resistência a compressão necessária mínima de 35Mpa para a utilização do traço de concreto definido anteriormente, não foi atingida. Os 10 corpos de prova tiveram resultados extremamente insatisfatórios quando a compressão, chegando num valor

médio de resistência a compressão 3,688 Mpa, como evidenciado nos documentos acima. Esse resultado tão distante do valor mínimo não era esperado, pois o traço definido foi realizado dentro das especificações e com a utilização de todos os materiais necessários.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo propõe uma maneira alternativa da produção de blocos de piso intertravado, com foco na substituição do agregado miúdo convencional que é a areia média, por resíduo de madeira.

No processo de entendimento da fabricação e desenvolvimento comercial dos blocos de piso intertravado, algumas características quanto ao não cumprimento das normativas ficaram claras, como por exemplo a testagem do traço do concreto utilizado convencionalmente no processo de fabricação. Algumas empresas utilizam um traço “caseiro” sem seguir qualquer ordem de grandeza ou análise da resistência a compressão, por exemplo. Dessa maneira, toda e qualquer informação quanto a resistência mecânica de algum traço de concreto se faz absolutamente necessária, uma vez que a segurança esta diretamente relacionada ao uso dos blocos de piso intertravado, seja para calçadas ou até mesmo para pavimentação de ruas.

Durante todo o processo de pesquisa, foram feitas as análises exigidas na norma ABNT NBR 9781 (2013), que determina as características físicas dos blocos de piso intertravado, tanto quanto a sua forma como funcionalidade, assim foi possível caracterizar a pesquisa e o processo produtivo dos corpos de prova de maneira diretamente relacionada a aplicabilidade do traço de concreto com a substituição do agregado miúdo. As pesquisas quanto as características físicas dos agregados miúdos, mostraram certa similaridade do resíduo de madeira com a areia, quanto a sua granulometria e módulo de finura, sendo os dois agregados caracterizados como agregados médios ($2,40 \leq MF \leq 3,30$). Já o teor de umidade e a massa unitária foi bastante divergente, estando o teor de umidade do resíduo de madeira na casa dos 33,33% e o teor de umidade da areia na casa dos 6,66%, a massa unitária também demonstra a diferença na densidade dos materiais, uma vez que a Massa unitária do resíduo de madeira foi de 0,198g/cm³ e da areia foi de 1,362g/cm³. Características essas que fizeram a diferença na capacidade do traço do concreto de obter uma massa uniforme e resistente.

No processo de produção do traço do concreto utilizando as substituições do agregado miúdo nas grandezas de 50%, 25% e de 10%, foi possível notar a dificuldade dos componentes do concreto de obter a liga necessária para formar uma massa uniforme, isso porque o teor de umidade do resíduo de madeira de 33,33% dificultava visivelmente a hidratação do conjunto, levando a conclusão de que a grande capacidade de absorção do resíduo de madeira inibiu a função da água no traço do concreto. Dessa forma a integridade estrutural dos corpos de prova com 50% e 25% de substituição, foi afetada, levando posteriormente ao colapso dos corpos de prova, não podendo nem ao menos serem testados a compressão.

Nos resultados dos ensaios de compressão, ficou claro que a areia possui uma capacidade melhor como agregado miúdo na integridade estrutural do traço do concreto, mesmo não obtendo o mínimo necessário de resistência a compressão de 35Mpa.

Levando em consideração os dados obtidos em pesquisa, posso concluir que os resíduos de madeira utilizados nesse projeto nas grandezas de 50%, 25% e 10%, apesar de possuírem algumas características físicas similares a areia média, não são eficientes na produção de um traço de concreto seco de fator A/C = 0,32 e consequentemente não são eficientes para a produção e fabricação de blocos de piso intertravado.

REFERENCIAL TEÓRICO

CMN NM 137: 1998 – **“Argamassa e Concreto – Água para amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento Portland”.**

ABNT NBR 9781: 2013 – **“Peças de concreto para pavimentação – Especificações e Métodos de Ensaio.”**

ABNT NBR ISO 7500 - 1: 2016 – **“Materiais metálicos – Calibração e verificação de maquinas de ensaio estático uniaxial – Parte 1: Máquinas de ensaio de tração/ compressão – Calibração e verificação do sistema de medição da força”**

ABNT NBR 7211: 2009 – **“Agregados para concreto - Especificação.”**

ABNT NBR 9939 : 2011 – **“Agregado graúdo – Determinação do teor de umidade total – Método de ensaio”**

ABNT NBR NM 45 : 2006 – **“Agregados – Determinação de massa unitária e do volume de vazios”**

ABNT NBR NM 248 : 2003 – **“Agregados – Determinação da composição granulométrica”**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (São Paulo). “**Manual de pavimento intertravado: Passeio Público”.** 2010. Disponível em: <http://solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2012/08/ManualPavimentoIntertravado.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2019.

FERNANDES, Idário. **Blocos e pavers – produção e controle de qualidade**. São Paulo: Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais LTDA, 2008.

VARGAS, Alexandre S. de. **“Estudo da viabilidade do uso do pó de aciaria elétrica a arco na confecção de blocos de concreto para pavimentação”**. 2002. 166 f. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGEM) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, RS, 2002.

T & A Blocos e Pisos. **“Manual técnico de piso intertravado de concreto/ T & A Blocos e Pisos”** . Fortaleza: T & A Blocos e Pisos, 2004.

MARCHIONI, Mariana Lobo. “**Desenvolvimento de técnicas para caracterização de concreto seco utilizado na fabricação de peças de concreto para pavimentação intertravada”.** 2012. Dissertação de Mestrado (Departamento de Engenharia de Construção Civil – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo). São Paulo, SP, 2012.

SCHVAICKARDT, Charles Miguel. “**Estudo de traço para peças pré-moldadas de concreto para pavimentos intertravados”.** Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**.** v.06, n.39, 2018.

TUOTO, Marco. Ministério do Meio Ambiente Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental Secretaria de Biodiversidade e Florestas. “**Levantamento sobre a geração de resíduos provenientes da atividade madeireira e proposição de diretrizes para políticas, normas e condutas técnicas para promover seu uso adequado”.** 2009.

DANTAS FILHO, Flavio Pedrosa. “**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO PARA APLICAÇÃO DO PÓ DE SERRA DA MADEIRA EM ELEMENTOS DE ALVENARIA DE CONCRETO NÃO ESTRUTURAL”.** 2004. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, SP, 2004.