



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

RAÍSA LUANA MEDEIROS NÓBREGA

**ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DA QUALIDADE DE BLOCOS INTERTRAVADOS
DE UMA EMPRESA DE PRÉ-MOLDADOS NO MUNICÍPIO DE
PAU DOS FERROS - RN**

PAU DOS FERROS – RN
2018

RAÍSA LUANA MEDEIROS NÓBREGA

**ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DA QUALIDADE DE BLOCOS INTERTRAVADOS
DE UMA EMPRESA DE PRÉ-MOLDADOS NO MUNICÍPIO DE
PAU DOS FERROS - RN**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Centro Multidisciplinar – Pau dos Ferros para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr Cláwsio Rogério Cruz De Sousa– UFERSA.

Coorientador: Prof. Me Rogério De Jesus Santos– UFERSA

PAU DOS FERROS – RN
2018

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

NN754 e Nóbrega, Raísa Luana Medeiros Nóbrega.
ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DA QUALIDADE DE BLOCOS
INTERTRAVADOS DE UMA EMPRESA DE PRÉ-MOLDADOS NO
MUNICÍPIO DE PAU DOS FERROS - RN / Raísa Luana
Medeiros Nóbrega Nóbrega. - 2018.
63 f. : il.

Orientador: Cláwsio Rogério Cruz De Sousa
Sousa.

Coorientador: Rogério De Jesus Santos Santos.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2018.

1. Empresa de pequeno porte. 2. Pavimento
intertravado. 3. Produtividade. 4. Controle
tecnológico. I. Sousa, Cláwsio Rogério Cruz De
Sousa, orient. II. Santos, Rogério De Jesus
Santos, co-orient. III. Título.

RAÍSA LUANA MEDEIROS NÓBREGA

**ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DA QUALIDADE DE BLOCOS INTERTRAVADOS
DE UMA EMPRESA DE PRÉ-MOLDADOS NO MUNICÍPIO DE
PAU DOS FERROS - RN**

Monografia apresentada à Universidade Federal
Rural do Semi-Árido – UFERSA, Centro
Multidisciplinar – Pau dos Ferros para a obtenção
do título de Engenheiro Civil.

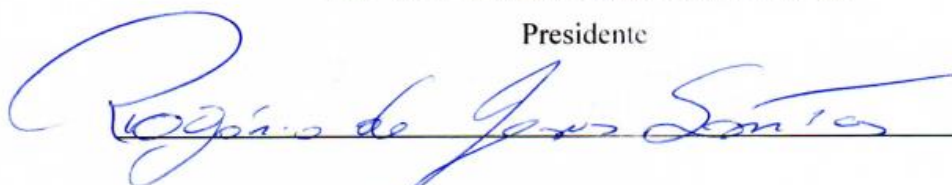
APROVADA EM: 06 / 04 / 2018

BANCA EXAMINADORA



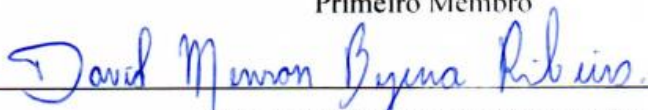
Prof.º. Dr. Cláudio Rogério Cruz De Sousa

Presidente



Prof.º Me. Rogério De Jesus Santos

Primeiro Membro



Bel. David Menon Bezerra Ribeiro

Segundo Membro

Dedico este trabalho aos meus pais que de tudo renunciaram em prol da minha formação acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter sido meu guia em momentos de dificuldade durante o curso.

A minha família, que se fizeram presente durante todos os meus ápices e declínios dentro da faculdade, que renunciaram de muita coisa me dando o amparo emocional e financeiro que eu precisei. A eles meu maior agradecimento.

A Felipe Paiva, que tanto me ajudou nos momentos difíceis e me incentivou a seguir em frente. Agradeço pela compreensão, companheirismo, conselhos, orientações profissionais e pelo amor.

A Humberto, Gracinha e Ana Amélia, que me inúmeras vezes me deram o suporte que eu não tinha em Pau dos Ferros.

Ao meu orientador, Cláwsio Rogério Cruz De Sousa, por ter me prestado apoio não só nesse momento, mas durante toda a trajetória enquanto estudante da UFERSA.

Ao meu coorientador, Rogério De Jesus Santos, agradeço pelo suporte, por sua atenção dentro e fora de sala de aula e disponibilidade para me ajudar.

A todos os professores e funcionários da UFERSA, que contribuíram com minha formação acadêmica e meu crescimento profissional.

A David, do Laboratório de Materiais de Construção na Universidade Federal Rural do Semi-Árido, por ter se disponibilizado em me ajudar sempre que necessário.

A todos os meus amigos, tanto de sala de aula, como os que me relacionei nesta etapa da minha vida.

“Gratidão
por nada ser em vão
uma etapa de cada vez
e a vida vira evolução.”
(Autor desconhecido)

RESUMO

Atualmente, o processo de urbanização vem acelerando muito no Brasil e consequentemente a mobilidade urbana é um desafio a ser superado. Isso impõe aos gestores planejar um sistema integrado, sustentável e capaz de atender à demanda da mobilidade dos habitantes. Diante disso, o pavimento intertravado apresentou-se como uma forma alternativa interessante no mercado, sendo ótima solução para minimizar esse problema urbano. Este estudo analisou desde da linha de produção até a etapa final de controle de qualidade dos produtos, os blocos intertravados, de uma empresa de pequeno porte no município de Pau dos Ferros-RN. Ao longo do estudo, foram analisados o método de fabricação do produto in loco, como também os ensaios, como granulometria e dosagens dos materiais seguindo a NBR 9781/2013 para peças de concreto para pavimentação. Percebeu-se que o método de obtenção dos produtos que a empresa utilizou estavam fora da norma estabelecida, pois através do índice de absorção de água e a resistência a compressão não apresentaram valores satisfatórios em relação a norma estabelecida, o que comprovou a necessidade de controle tecnológico na linha de produção. Apesar do teste de inspeção visual dos produtos apresentou-se próximo do desejado, eles teriam que atender todos os requisitos da norma estabelecida para ser posto em uso.

Palavras-chave: Empresa de pequeno porte. Pavimento intertravado. Produtividade. Controle tecnológico

ABSTRACT

Nowadays, the urbanization process is accelerating a lot in Brazil, and consequently urban mobility is a challenge to be overcome. This scenario requires managers to plan an integrated, sustainable and responsive system to meet the demands of the inhabitants' mobility. In view of, the interlocked pavement emerged as an interesting alternative in the market, being a great solution to minimize this urban problem. This study covered an analyses starting in the production line and going to the final stage of product's quality control process, the interlock blocks, of a small company in the city of Pau dos Ferros - RN. Throughout the study, the manufacturing method of the product in loco was analyzed, and the tests as well, such as granulometry and dosages of the materials following NBR 9781/2013 for concrete pieces for paving. It was noticed that the method of obtaining the materials that the company used was outside of the parameters that the norm established, because of the index of water absorption and the resistance to compression did not present satisfactory values in relation to the established standard, which proved the necessity of control in the production line. Although the visual inspection test of the products presented close to the desired one, they would have to meet all the requirements established by the standard to be used by the civil construction

Keywords: Small business. Interlocked floor. Productivity. Technological control

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Via Ápica nos dias atuais.....	17
Figura 2 (a) : Via Ostiense, ligando Óstia a Roma Figura 1 (b) : Via urbana em Pompéia, Itália.....	18
Figura 3: Fluxograma de classificação dos pavimentos	19
Figura 4: Composição do pavimento flexível.....	20
Figura 5: Composição do pavimento semi-rígido tipo: (a) direto e (b) indireto	21
Figura 6: Composição do pavimento rígido	22
Figura 7: Técnica de intertravamento.....	23
Figura 8- O condomínio Alphaville Lagoa dos Ingleses, em Nova Lima, Minas Gerais	24
Figura 9: Formatos típicos das peças pré-moldadas de concreto	25
Figura 10: Tipos de pisos intertravados.....	26
Figura 11: Modelos de assentamentos de pavers: (a) fileiras; (b) trama; e (c) espinha de peixe	26
Figura 12: Assentamentos de paver.....	27
Figura 13: Evolução da porcentagem de resistência do cimento aos 28 dias.....	29
Figura 14: Seção transversal típica da estrutura final do pavimento intertravados.....	35
Figura 15: Fluxograma do estudo	38
Figura 16: Cimento utilizado na produção dos blocos.	39
Figura 17: Agregado miúdo utilizado na produção dos blocos.	40
Figura 18: Brita utilizada para a produção dos blocos	41
Figura 19: Betoneira utilizada para a produção dos blocos.....	44
Figura 20: Estocagem para vendas	46
Figura 21 (a) Inspeção bloco tubo T; (b) Inspeção em bloco de 16 faces; (c) Inspeção blocos intertravados	46
Figura 22: (a) Medição de espessura, (b) comprimento e (c) largura.....	47
Figura 23: (a) Medição de espessura, (b) comprimento e (c) largura.....	48
Figura 24: Modelagem 16 faces e duplo T	48
Figura 25: Blocos na estufa	49
Figura 26: Blocos imersos em água potável.	50
Figura 27: Ensaio de resistência à compressão (a) Antes da ruptura e (b) Depois da ruptura .	50
Figura 28: Curva granulométrica do agregado miúdo.....	52
Figura 29: Curva granulométrica do agregado graúdo	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação dos agregados miúdos segundo o módulo de finura.	40
Tabela 2: Quantidade de materiais necessários à produção de 120 blocos.	43
Tabela 3: Dados do ensaio de massa específica e massa unitária	51
Tabela 4: Composição granulométrica do agregado miúdo	52
Tabela 5: Dados do ensaio de massa específica e massa unitária	53
Tabela 6: Composição granulométrica do agregado graúdo	53
Tabela 7: absorção de água.....	55
Tabela 8: Fator multiplicativo p	56
Tabela 9: Resultado do ensaio de resistência a compressão bloco do tipo duplo T	56
Tabela 10: Resultado do ensaio de resistência a compressão bloco do tipo 16 faces	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificação dos aditivos.....	32
Quadro 2: Critérios para resistência à abrasão	37
Quadro 3: Resistência característica à compressão	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ICP	Interlocking Concrete Institute
NBR	Norma Brasileira
PROGRAD	Pró-Reitoria de Graduação
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	16
1.1.1	Objetivo geral	16
1.1.2	Objetivos específicos.....	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	HISTÓRICO DA PAVIMENTAÇÃO	17
2.2	CLASSIFICAÇÃO DOS PAVIMENTOS	19
2.3	BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO	22
2.4	CARACTERÍSTICAS DOS BLOCOS INTERTRAVADOS.....	24
2.5	PROCESSO DE OBTENÇÃO DE BLOCOS	27
2.6	OS MATERIAIS USADOS PARA FABRICAÇÃO DE BLOCOS INTERTRAVADOS.....	28
2.6.1	Cimento Portland.....	28
2.6.2	Agregado	29
2.6.3	Água.....	31
2.6.4	Aditivos	31
2.6.5	Adição de minerais	33
2.7	PROJETO E DIMENSIONAMENTO DOS BLOCOS INTERTRAVADAS	34
2.8	CONTROLE DE QUALIDADE	35
2.9	ENSAIOS TECNOLÓGICOS	36
2.9.1	Inspeção visual	36
2.9.2	Absorção de água.....	36
2.9.3	Resistência à abrasão	36
2.9.4	Resistencia à compressão	37
3	MATERIAIS E MÉTODOS	38
3.1	LOCAL DA PESQUISA	39
3.2	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAS.....	39
3.2.1	Cimento	39
3.2.2	Agregado miúdo	40
3.2.3	Agregado graúdo	41
3.2.4	Água.....	42
3.2.5	Desmoldante	42

3.3	DOSAGEM E PRODUÇÃO DO BLOCO INTERTRAVADO.....	42
3.3.1	Traço e dosagem.....	42
3.3.2	Quantitativo de materiais.....	43
3.3.3	Equipamentos utilizados.....	43
3.3.4	Produção dos blocos	44
3.4	ENSAIOS NOS BLOCOS	46
3.4.1	Inspeção visual	46
3.4.2	Determinação da absorção de água	49
3.4.3	Resistência à compressão	49
4	RESULTADOS E DISCURSÃO.....	51
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO	51
4.1.1	Massa específica real e massa unitária	51
4.1.2	Ensaio de massa específica.....	51
4.2	CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO.....	53
4.2.1	Massa específica real e massa unitária	53
4.2.2	Análise Granulométrica.....	53
4.3	PRODUÇÃO DOS BLOCOS INTERTRAVADOS	54
4.4	INSPEÇÃO VISUAL	55
4.5	ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	55
4.6	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO	56
5	CONCLUSÕES.....	58
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	59
	REFERÊNCIAS.....	60

1 INTRODUÇÃO

O processo de expansão urbana vem acelerando intensificamente no Brasil nos últimos anos, com isso, a mobilidade urbana tornou-se um desafio a ser superado. Isso impôs aos gestores um estudo constante ao planejar um sistema integrado, sustentável sendo capaz de atender à demanda da mobilidade dos habitantes. Nesse contexto, as vias devem oferecer uma fluidez adequada, como calçamentos nivelados para evitar sinistros, apresentar boa permeabilidade de escoamento para que em dias de chuvas não venha ocasionar as enchentes e não venha atrapalhar o trânsito, de modo que a população possa circular de forma segura e confortável, sendo sempre subsidiada pela acessibilidade.

Nessa perspectiva, destacam-se as estruturas de pavimento, as quais são projetadas para resistirem a numerosas solicitações de carga dentro do período de vida útil previsto em projeto, sem que ocorram danos estruturais fora do aceitável e previsto. Os principais danos considerados são solicitação, a consequência deformação permanente, trincas e fraturas prematura, antes do ciclo da vida útil.

Conforme Senço (2001), para dimensionar adequadamente uma estrutura de pavimento, deve-se conhecer bem as propriedades dos materiais que a compõem, sua resistência à ruptura, permeabilidade e deformabilidade, frente à repetição de carga e ao efeito do clima.

Os revestimentos dos pavimentos, em geral, são submetidos aos efeitos de variação climática, a esforços de compressão, tração e flexão. Em certos casos, uma camada subjacente ao revestimento pode ser composta por materiais com estabilidade química de modo a proporcionar coesão e aumentar sua rigidez, podendo resistir a esforços de tração (BERNUCCI et al ,2006).

Esses revestimentos, no tocante ao pavimento intertravado de concreto vem se apresentando como uma solução que abrange duas questões essenciais, são as de drenagem e a mobilidade de áreas urbanas. Várias vantagens de aplicação do pavers e paviess, como também são denominados, são conhecidas, como a capacidade de gerar economia de iluminação pública, pois é capaz de aumentar a reflexão em até 30% se comparado a outros pavimentos (Marchioni, Silva 2011).

Além da simplicidade na execução os blocos são facilmente assentados sobre uma camada de areia ou pó de pedra, sem necessidade de ferramentas complexas, máquinas ou mão de obra especializada, facilidade também observada na manutenção, visto que o pavimento pode ser instalado e removido a qualquer tempo. Após o assentamento do piso

intertravado, o tráfego pode ser liberado imediatamente, não precisando de tempo de secagem, cura do material ou algum acabamento superficial.

Outra vantagem é a versatilidade no efeito estético, pois são várias as formas, texturas e cores destas peças. A pavimentação em blocos de concreto tem-se revelado bem competitivo, em termos de custo, e vem sendo adotada de forma crescente pelos setores públicos e privados.

Possui boas vantagens econômica, sendo um sistema bem apropriado para o ambiente urbano, também, por todas as vantagens já evidenciadas. Para uma via de bairro, por exemplo, o intertravado teria um custo de implantação (obra) de 3 a 5% superior ao de uma solução similar em asfalto, porém, incluindo-se manutenções e reconstruções necessárias em 20 anos, para esse prazo, ele torna-se 40% mais barato, o que o viabiliza (MAPA DA OBRA, 2017).

Trata-se, portanto, de uma alternativa a ser considerada por gestores públicos e privados, projetistas, e construtores, bem como por qualquer pessoa envolvida na escolha dos tipos de pisos e pavimentos a serem utilizados nos mais diversos campos de aplicação.

Com a utilização desse novo material, novas empresas surgiram nesse segmento e assim, passou-se a ter a necessidade de melhorar a qualidade do produto devido à competitividade comercial. Entre essas novas empresas que surgiram, uma se encontra no município de Pau dos Ferros – RN. Sendo uma empresa de pequeno porte têm uma função fundamental para promover o crescimento econômico da cidade. Pois além de ajudar na geração de empregos e renda para a população, movimentar o comércio local.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Realizar um estudo de caso analisando a qualidade de blocos intertravados de uma empresa de pré-moldados no município de Pau dos Ferros –RN.

1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar a linha de produção dos blocos in loco;
- Realizar os ensaios de resistência à compressão, à abrasão, absorção de água e inspeção visual nos blocos;
- Sugerir melhorias no processo de produção a partir da caracterização da matéria prima;

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 HISTÓRICO DA PAVIMENTAÇÃO

A evolução da pavimentação progrediu juntamente com a expansão da sociedade. Conforme Fioriti (2007) com o passar dos anos, os povos sentiram a necessidade de construir caminhos, atalhos e estradas, com o intuito de vencer as grandes distâncias que existiam entre diferentes povoados, para então conseguir estabelecer uma comunicação entre eles. Com isso, foi acontecendo conquistas de novos territórios e conhecimento de novas culturas.

Uma das mais antigas estradas pavimentadas implantadas não se destinou a veículos com rodas, mas aos trenós para o transporte de cargas. Para a construção das pirâmides no Egito (2600-2400 a.C.), foram construídas vias com lajões justapostos em base com boa capacidade de suporte (BERNUCCI et al., 2006).

Com a finalidade de aumentar cada vez mais as suas fortunas, os romanos foram também um dos primeiros povos a desenvolver técnicas de pavimentação. Essas construções eram constituídas de acordo com a disponibilidade de material, em sua maioria eram feitas de fundações com grandes pedras, uma camada de solo arenoso, limalha de ferro e pedregulho, esse método fez com que as estradas crescessem de forma rápida (CRUZ,2003).

Em 500 a.C, Roma havia desenvolvido pavimentos com bases granulares e camada de rolamento de pedra. Bernucci et al., (2006) descreve que primeira via romana nomeada foi a Via Appia, em homenagem ao seu construtor, Appius Claudius, que a criou em 312 a.C. Tinha como intuito fazer a ligação entre Roma e Cápuia (195 km), melhorando a velocidade de acesso do exército romano até as áreas de Campina e Samnium. Hoje a Via Appia é acessada pelos turistas, tem vários lugares históricos importantes e ainda possui algumas características da sua origem, conforme apresenta a Figura 1.

Figura 1: Via Ápica nos dias atuais



Fonte: CONVERTINO, 2018.

Após o sucesso da Via Ápia, foi realizado novos projetos viários com vias pavimentadas com pedras intercaladas para proporcionar a circulação de veículos com rodas e calçadas para pedestre. Muitos desses projetos atualmente são pontos turísticos e recebem milhares de visitantes anualmente. As Figuras 2(a) e (b) ilustram nos dias atuais da Via Ostiense que ligava Óstia a Roma e uma via urbana em Pompéia, no sul da Itália, respectivamente.

Figura 2(a): Via Ostiense, ligando Óstia a Roma



Fonte: BERNUCCI et al., 2006.

Figura 2(b): Via urbana em Pompéia, Itália



Fonte: BERNUCCI et al., 2006

Nesse aspecto, Cruz (2003) também destaca que as primeiras estradas no Brasil eram feitas de pedras, um exemplo dessas estradas é a estrada real ou caminho de ouro, que liga as cidades de Tiradentes, São João Del Rey e Ouro Preto, em Minas Gerais e levada até a cidade de Paraty no Rio de Janeiro para posterior embarque nos navios que levavam a Portugal. Foi criada com o objetivo de fazer o transporte do ouro extraído nas minas durante o século XVIII.

Com o passar do tempo foi havendo a necessidade de melhorar e construir novos caminhos, surgindo então a primeira rodovia pavimentada do Brasil que liga a cidade do Rio de Janeiro à Petrópolis.

Com relação ao tocante histórico, evidencia-se que em 1937, o presidente Getúlio Vargas, criou o Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (DNER), no qual era de responsabilidade do Ministério de Viação de Obras Públicas, hoje conhecido com DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de transporte).

Destaca-se ainda o avanço da pavimentação, durante a década de 1940, devido a tecnologia gerada na Segunda Guerra Mundial. Nesse período houve o contato de engenheiros brasileiros com engenheiros norte-americanos que construíram pista de aeroportos e estradas de acesso durante a guerra (BERNUCCI et al, 2006).

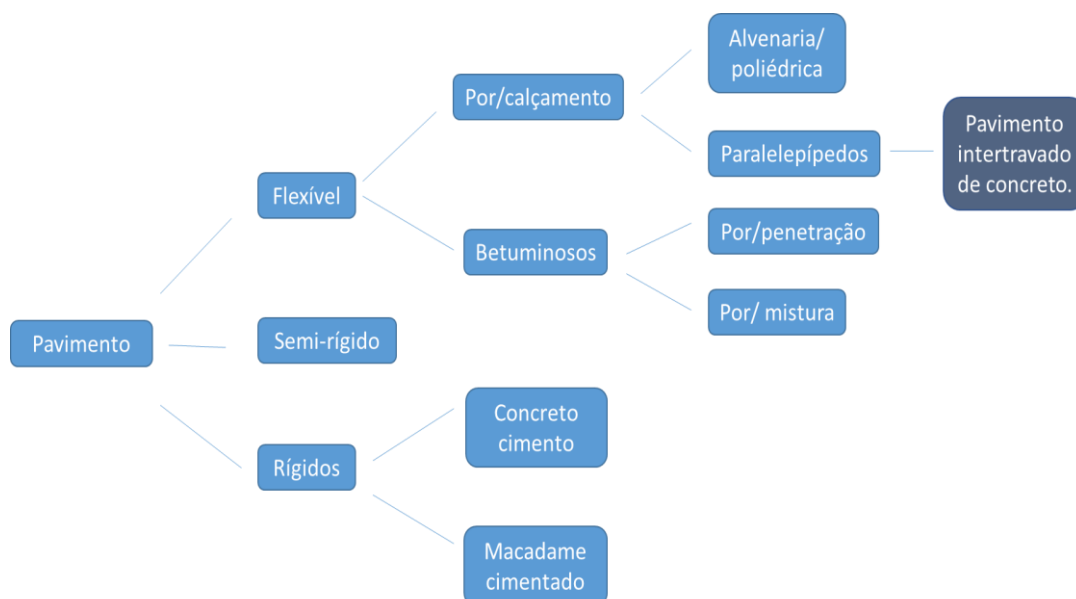
De acordo com a Diretoria de Planejamento e Pesquisa – (DNIT) (2006), pode-se classificar os pavimentos em 3 tipos, podendo ser flexível, semi-rígido e rígido. Para a escolha do tipo deve-se considerar características como intensidade de tráfego, propriedades geotécnicas da região e a interface com o sistema de drenagem superficial.

2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS PAVIMENTOS

De acordo com o Manual do DNIT (2006), pavimento é a superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assentados sobre um semiespaço considerado teoricamente como infinito (infraestrutura ou terreno de fundação), a qual é designada de subleito.

O tipo de pavimento pode ser determinado pela intensidade do tráfego, a qualidade de resistência do solo de fundação, assim como, a disponibilidade e qualidade dos materiais (BERNUCCI et al., 2006). Nesse contexto, o fluxograma na Figura 3, apresenta a classificação dos pavimentos de acordo com a Diretoria de Planejamento e Pesquisa – (DNIT) (2006).

Figura 3: Fluxograma de classificação dos pavimentos



FONTE: Adaptado de DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA – DNIT (2006).

Com isso, pode ser observado que os pavimentos são classificados em três tipos que são os flexíveis, semi-rígido e rígidos. E o pavimento intertravado de concreto sendo identificado como pavimento flexível, da categoria por/calçamento.

2.2.1- Pavimento flexível

O pavimento flexível pode ser definido como aquele que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas (DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA – DNIT, 2006). Estes tipos de pavimentos são denominados "flexíveis", em virtude de a estrutura do pavimento "fletir" em consequência das cargas do tráfego. Uma estrutura de pavimento flexível é constituída de várias camadas de materiais conforme a Figura 4, que podem resistir a flexão da estrutura. A camada de revestimento de um pavimento flexível consiste de uma mistura de agregados minerais e materiais betuminosos, sobreposta à camada de base. (COMO,2016).

A absorção dos esforços no pavimento flexível é feita pela fundação, já que o pavimento funciona apenas como camada de rolamento. Por isso, estima-se uma vida útil de 10 anos. (BIANCHI, F. R. Et al, 2008).

Figura 4: Composição do pavimento flexível



Fonte: COMO, 2006.

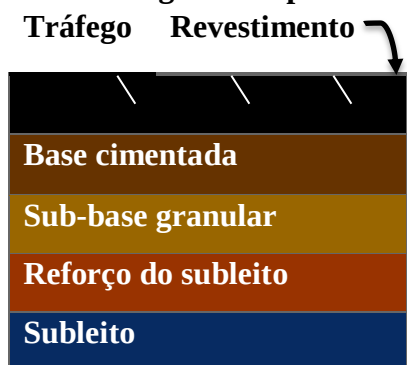
2.2.2- Pavimento semi-rígido

Segundo Marques (2007), o pavimento semi-rígido é uma situação intermediária entre

o pavimento rígido e flexível. É o caso das misturas solo-cimento, solo-cal, solo-betume dentre outras, que apresentam razoável resistência à tração.

Este tipo de pavimento tem uma deformabilidade maior que o rígido e menor que o flexível. O pavimento semi-rígido se diferencia de acordo com suas camadas de materiais podendo ser do tipo direto, apresentado na Figura 5(a), quando a camada de revestimento asfáltico é executada sobre camada de base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias e do tipo indireto ou invertido, Figura 5 (b), quando a camada de revestimento é executada sobre camada de base granular e sub-base cimentada (DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGEM – DER, 2006).

Figura 5 (a): Composição do pavimento semi-rígido do tipo direto



Fonte: COMO, 2006.

Figura 5 (b): Composição do pavimento semi-rígido do tipo indireto



Fonte: COMO, 2006.

Nos semi-rígidos incluem-se também os revestimentos compostos por blocos, utilizados em calçamento, tais como, paralelepípedos e peças pré-moldadas de cerâmica. (MASCARÓ,1991).

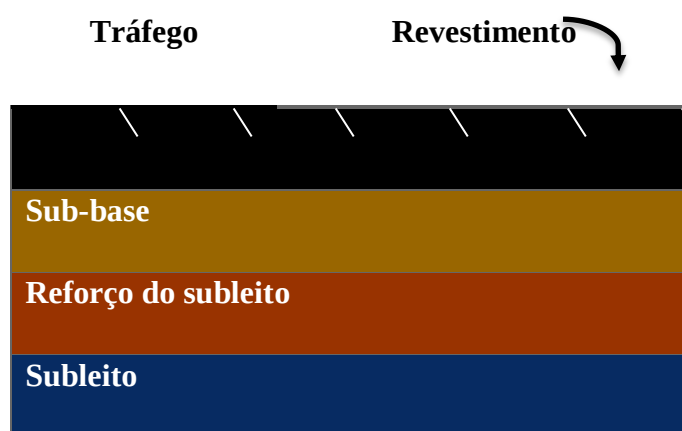
2.2.3- Pavimento rígido

Denomina-se pavimento rígido o revestimento que possui elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado (DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA – DNIT, 2006). Os pavimentos rígidos se apresentam em diversos tipos, tais como: pavimento de concreto simples, pavimento tipo cobertura branca, pavimento estruturalmente armado, pavimento de concreto rolado entre outros. Uma característica desse tipo de pavimento é que se pode usar os seguintes materiais: cimento Portland (comum), agregado graúdo (brita), agregado miúdo (areia), água, aditivos químicos, fibras naturais e sintéticas, selante de juntas e aço.

No pavimento rígido, a camada de rolamento também funciona como estrutura, redistribuindo os esforços e diminuindo a tensão imposta à fundação. Por isso, a vida útil desse pavimento é estimada em no mínimo 20 anos (BIANCHI, F. R. ET AL., 2008).

Os pavimentos rígidos são compostos por uma camada superficial constituída por placas, armadas ou não, apoiada geralmente sobre uma camada de material estabilizado com cimento (chamada sub-base), assentada sobre o subleito ou sobre um reforço do subleito quando necessário (BERNUCCI et al., 2006), conforme a Figura 6.

Figura 6: Composição do pavimento rígido



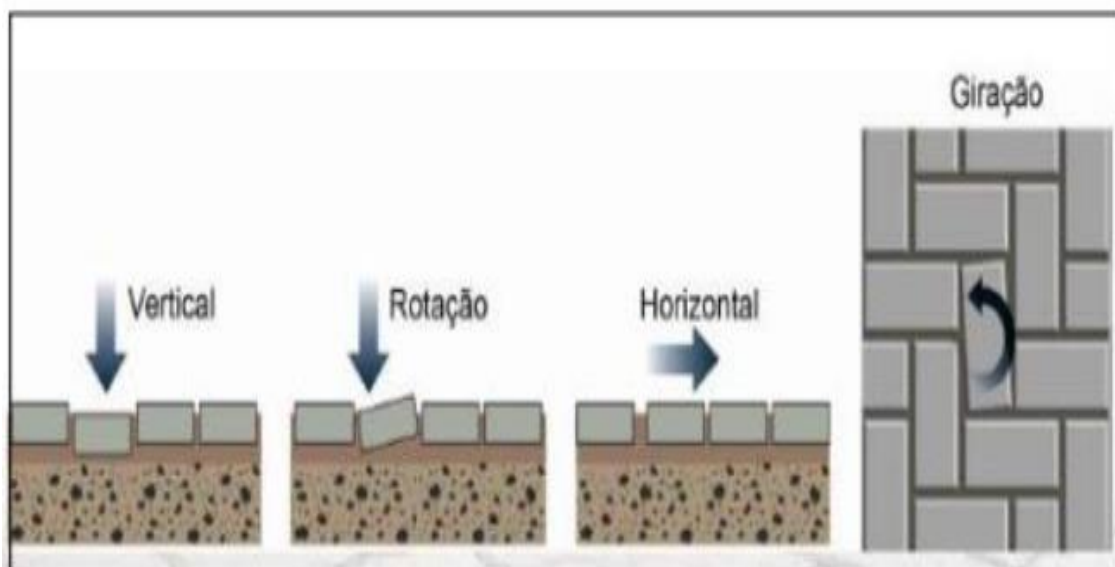
Fonte: COMO, 2006.

2.3 BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO

Os blocos de concreto para pavimentos são também denominados pavers, que são blocos intertravados, pré-fabricados, maciços e que permitem pavimentar completamente uma superfície ou uma via, seja para veículos pesados ou leves. (FIORITI, 2007).

Segundo a ABCP (2013) o intertravamento é a capacidade que os blocos adquirem de resistir a movimentos de deslocamento individual, seja ele vertical, horizontal ou de rotação em relação a seus vizinhos. Para que se consiga o intertravamento duas condições são necessárias e indispensáveis: contenção lateral, que impede o deslocamento lateral dos blocos da camada de rolamento, promovendo o intertravamento, e junta preenchida com areia, que proporciona a transferência de esforços entre os blocos de concreto, permitindo que eles trabalhem juntos, uns com os outros, e suportem as cargas solicitantes, conforme mostrado na Figura 7.

Figura 7: Técnica de intertravamento



Fonte: ABCP, 2013.

Sendo assim, o pavimento intertravado é considerado como um tipo de pavimento flexível cuja estrutura é composta por uma camada de base (ou base e sub-base), seguida por camada de revestimento constituída por peças de concreto, assentadas sobre camada de areia ou pó de pedra, e travadas entre si por contenção lateral. As juntas entre as peças são preenchidas por material de rejunte (SINAPI, 2017)

Conforme o Instituto de Pavimento Intertravado de Concreto (Interlocking Concrete Pavement Institute – ICPI) é a associação comercial norte-americana que representa a indústria de pavimento intertravado de concreto afirmam que os pavers permeáveis são produtos com alto potencial de durabilidade e alto custo-benefício

De acordo com o ICPI (2016), um grande projeto executado foi a utilização de pavimento intertravado de concreto na Vila Olímpica, em Vancouver, Canadá, para as Olimpíadas de Inverno de 2010. Em seu projeto de construção sustentável, a vila foi pavimentada em 17.000 m² com pavers de concreto e em 7.500 m² com pavers drenantes de concreto, baseado em seus custos de manutenção reduzidos, agilidade de construção e benefícios ambientais.

O pavimento intertravado vem crescendo no Brasil nos últimos anos. Sua principal utilização no presente é em calçadas e acessos residenciais principalmente em condomínios de casas, como mostrado na Figura 8.

Figura 8- O condomínio Alphaville Lagoa dos Ingleses, em Nova Lima, Minas Gerais.



Fonte: Mapa da obra, 2017.

Conforme Equipe de Obra (2011), o consumo de peças depende do formato e do tamanho da peça adotada. No Brasil se tem em média cerca de 30 modelos de blocos de diferentes formatos e espessuras. Um exemplo de cálculo seria a utilização de blocos de 16 faces com dimensões 110 mm x 220 mm. Considerando espaçadores de 2 mm, teremos: 112 mm x 224 mm, o que resultaria por exemplo em aproximadamente 40 peças/m².

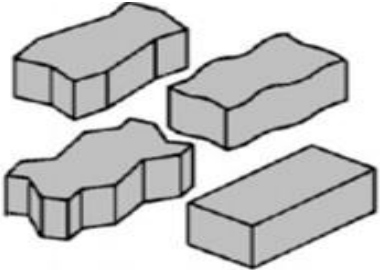
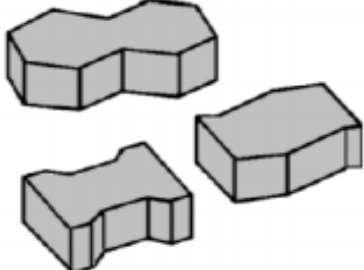
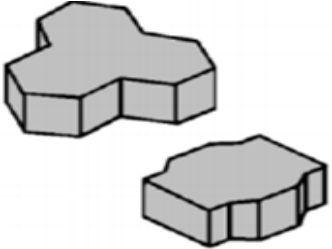
Mediante a isso, os pavers estão conquistando espaço no cenário da pavimentação do país, oferecendo vantagens como rapidez e simplicidade na execução, impermeabilidade do solo, uma boa estética, boa resistência mecânica e entre outras vantagens. Porém, para que exista uma qualidade nos blocos de concreto, é ideal que no processo de fabricação exista uma conformidade dos materiais, equipamentos de boa precisão, procedimentos de dosagem e cura controlada e um controle de qualidade após a obtenção do produto final, com intuito de solucionar problemas e com meta aumentar a qualidade dos produtos finais.

2.4 CARACTERÍSTICAS DOS BLOCOS INTERTRAVADOS

Os blocos intertravados possuem diferencial em relação a outros tipos de pavimentação, dentre elas, a facilidade de assentamento, possibilidade de fazer uma paginação na via, liberação para tráfego rapidamente, bom escoamento da água, praticidade na sua manutenção e se executado de forma correta, podendo apresentar 25 anos de vida útil.

Ainda sobre as características, os blocos intertravados podem ser fabricados com qualquer formato, cor e espessura, porém de acordo com a norma brasileira NBR 9781 (2013), as peças pré-moldadas, de formato geométrico regular, podem ter comprimento máximo de 250 mm, largura mínima de 95 mm e altura mínima de 60 mm e devem atender aos parâmetros de resistência a compressão para blocos estabelecida pela NBR 9780/87. Sobre a geometria, verifica-se que não existe um melhor formato dos blocos intertravados, porém alguns modelos se destacam por serem mais utilizados, como os mostrados na Figura 9.

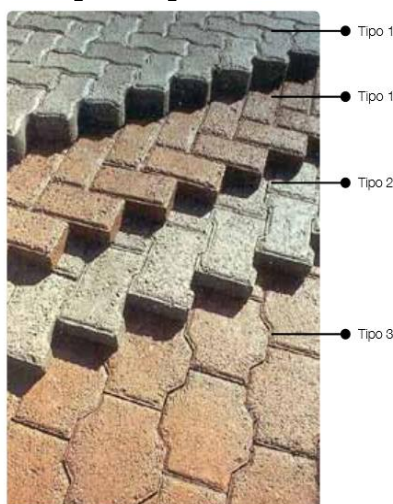
Figura 9: Formatos típicos das peças pré-moldadas de concreto

	A. Peças de concreto segmentadas ou retangulares, com relação comprimento/ largura igual a dois (usualmente 200 mm de comprimento por 100 mm de largura), que entrelaçam entre si nos quatros lados, capazes de serem assentadas em fileiras ou em “espinha-de-peixe” e podem ser carregados facilmente com apenas uma mão.
	B. Peças de concreto com tamanhos e proporções similares aos da categoria A, mas que entrelaçam entre si somente em dois lados, e que só podem ser assentadas em fileiras. Podem ser carregados com apenas uma mão e genericamente têm o formato em “T”.
	C. Peças de concreto tamanhos maiores do que as anteriores, que pelo seu peso e tamanho não podendo ser carregados com apenas uma mão, com formatos geométricos característicos (trapézios, hexágonos, triedros etc.), assentadas seguindo-se sempre um mesmo padrão, que nem sempre conforma fileiras facilmente identificáveis.

Fonte: HALLACK, 1998.

De acordo com a NBR 9781 (2013), os blocos são classificados como Tipo I, Tipo II e Tipo III, sendo estes classificados por HALLACK (1998) como Tipo A, Tipo B e Tipo C respectivamente. Além das variações de forma, também podem apresentar alternativas em relação a coloração conforme a Figura 10.

Figura 10: Tipos de pisos intertravados



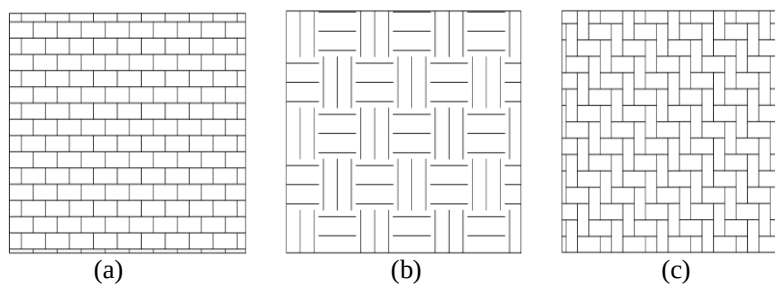
Fonte: PORTLAND, 2010.

A largura e o comprimento das peças podem variar, mas a altura que geralmente é de 6 cm, 8 cm ou 10 cm, que requer atenção na hora determinar qual é o bloco. Pois, de acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), a relação comprimento/espessura do bloco é um fator relevante para definir a escolha das peças, e deve ser sempre menor ou igual a 4. Devido ao fato de que o intertravamento da peça tem relação direta com a espessura, sendo maior a espessura melhor o é o intertravamento entre as peças.

Em praças e calçadas de pedestres, por exemplo, são indicadas peças menores, de 6 cm de espessura. Ruas e avenidas pedem peças de 8 cm de espessura. Os blocos de 10 cm são ideais para locais de tráfego pesado, como corredores de ônibus e postos de combustível em estradas, que recebem caminhões pesados (Equipe de Obra, 2011).

Os principais arranjos, ou modelos de assentamento dos pavers que são usados, se diferenciam de acordo com a aparência estética que se deseja ter, podendo ser em fileiras, trama e espinha de peixe, conforme um modelo esquemático apresentado na Figura 11.

Figura 11: Modelos de assentamentos de pavers: (a) fileiras; (b) trama; e (c) espinha de peixe



Fonte: Cruz (2003, p. 19).

A Figura 12 mostra os modelos de assentamento dos blocos feito manualmente de acordo com os modelos fileiras, trama e espinha de peixe respectivamente.

Figura 12: Assentamentos de paver



Fonte: PORTLAND, 2010.

De acordo com Cruz (2003), não há consenso entre os pesquisadores sobre a influência do formato dos pavers na durabilidade dos pavimentos intertravados. Por outro lado, há concordância com relação ao fato de que o arranjo influencia no desempenho dos pavimentos.

Conforme Cruz (2003) o boletim técnico nº 4 do Interlocking Concrete Institute (2002), recomenda-se que em áreas de tráfego veicular seja utilizado o tipo de arranjo espinha-de-peixe, pois ele apresenta maiores níveis de intertravamento e consequente melhor desempenho estrutural.

2.5 PROCESSO DE OBTENÇÃO DE BLOCOS

A obtenção do piso nivelado e com boa aparência tem uma importante relação intrínseca no controle de qualidade desde da linha de produção desde da seleção da matéria-prima, processamento de fabricação dos materiais e o produto final dos blocos de concreto.

Nesses aspectos, os traços dosados, procedimentos de fabricação adequados, para que não haja grandes diferenças de dimensões dos blocos e se tenha blocos com qualidade, e um fator importante no que diz respeito a permeabilidade dos pavimentos é a execução dos mesmos (MARTINS, 2014).

Com isso, nota-se que no processo de fabricação vários são os fatores que podem interferir na qualidade do bloco, além dos citados acima, ainda temos que considerar o material empregado, o tipo de máquinas e equipamentos utilizado, cura, estocagem, entre outros.

2.6 OS MATERIAIS USADOS PARA FABRICAÇÃO DE BLOCOS INTERTRAVADOS

A produção de blocos intertravados de concreto são utilizados geralmente os seguintes materiais: cimento Portland, agregados miúdos, agregados graúdos e água. Em alguns casos, podem ser utilizados com a adição de minerais e aditivos químicos. A diferença nos blocos está na proporção dos materiais posto em cada produto, visando adquirir as características adequadas para cada caso, podendo ser um bloco mais resistente ou um que absorva mais água e assim sucessivamente.

Segundo Batezini (2013), as proporções de materiais são influenciadas pelos tipos de insumos disponíveis em cada local, e a realização de ensaios em laboratório anteriormente à fabricação torna-se imprescindível para a diminuição de erros ou correta dosagem da proporção.

Portanto, a qualidade do piso produzido tem uma relação direta com as características específicas das matérias-primas. Informações sobre a origem e qualidade destes materiais são fundamentais para o processo de fabricação de um produto uniforme e de acordo com a legislação específica.

2.6.1 Cimento Portland

A palavra cimento é originada do latim “caementu”, que designava na velha Roma espécie de pedra natural de rochedos e não esquadrejada. A origem do cimento remonta há cerca de 4.500 anos. Os imponentes monumentos do Egito antigo já utilizavam uma mistura constituída com gesso calcinado. As grandes obras gregas e romanas, como o Panteão e o Coliseu, foram construídas com o uso de solos de origem vulcânica da ilha grega de Santorino ou das proximidades da cidade italiana de Pozzuoli, que possuíam propriedades de endurecimento sob a ação da água (BATTAGIN, 2016).

O cimento portland é composto de clínquer como o principal componente e está presente em todos os tipos de cimento portland e podendo haver adições de outros elementos. As adições podem variar de um tipo de cimento para outro e são principalmente elas que definem os diferentes tipos de cimento (ABCP, 2009).

De acordo com a ABCP (2009), o mercado nacional dispõe de uma variedade de 11 tipos de cimento Portland, que usados de acordo com sua função nos diferentes tipos de obras. Os tipos básicos de cimento Portland disponíveis no mercado brasileiro. São eles:

- Cimento Portland Comum (CP I);

- a. CP I – Cimento Portland Comum
- b. CP I-S – Cimento Portland Comum com Adição
- Cimento Portland Composto (CP II);
 - a. CP II-E – Cimento Portland Composto com Escória
 - b. CP II-Z – Cimento Portland Composto com Pozolana
 - c. CP II-F – Cimento Portland Composto com Fíler
- Cimento Portland de Alto-Forno (CP III);
- Cimento Portland Pozolânico (CP IV);
- Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI);
- Cimento Portland Resistente a Sulfatos (RS);
- Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC);
- Cimento Portland Branco (CPB).

A NBR 9781/2013, cita apenas que o cimento empregado para fabricação dos blocos intertravados de concreto precisa respeitar as normas, independentemente do tipo de cimento. Comumente as indústrias empregam o cimento de alta resistência inicial resistente a sulfatos, o pozolânico ou o composto com pozolana. A Figura 13 apresenta a evolução da porcentagem de resistência do cimento aos 28 dias.

Figura 13: Evolução da porcentagem de resistência do cimento aos 28 dias.

Cimento	1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
CPII-E-32	23%	54%	73%	100%
CPII-F-32	37%	65%	80%	100%
CPIII-32	13%	37%	60%	100%
CPIII-40	17%	43%	65%	100%
CPIV-32	31%	55%	70%	100%
CPV-ARI	50%	71%	84%	100%
CPV-ARI RS	40%	67%	82%	100%

Fonte: Controle do Selo de qualidade ABCP.

2.6.2 Agregado

De acordo com a NBR 7211/2009, os agregados são grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, que não devem conter substâncias de natureza e em

quantidade que afetem a hidratação e o endurecimento do cimento, assim como a durabilidade, a proteção da armadura contra a corrosão, ou, que afete o aspecto visual externo do concreto.

Então o termo ‘agregado’ é de uso generalizado na tecnologia do concreto. “É o material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula, constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos” (ALBUQUERQUE, 2004, p.63). Pode-se dizer ainda que os agregados são considerados como material granular, sem forma ou volume definido, que apresentam dimensões adequadas para as obras de engenharia, empregados na fabricação de concretos e argamassas de cimento Portland, que podem ser de origem natural, britados, artificiais e reciclados (AMORIM, 2010).

Bauer (2000) afirma que agregado é um material fragmentado, incoesivo, inerte, constituído de misturas de partículas de vários tamanhos granulométricos. No ramo da construção pode ser conhecido conforme cada caso, pelo nome específico: filer, pedra britada, bica-corrida, entre outros.

No início dos estudos sobre o concreto, pensava-se que os agregados utilizados eram apenas para enchimento, para aumentar o volume na composição do concreto, e que sua única função era de tornar menos onerosa a sua fabricação, sendo considerados como inertes. No entanto, surgiu a necessidade de estudos mais especializados para se conhecer melhor este material, pois muitas propriedades do concreto são influenciadas pelas características dos agregados utilizados como: porosidade, composição granulométrica, absorção d’água, estabilidade, forma e textura superficial dos grãos, resistência mecânica, módulo de deformação e substâncias deletérias (AMORIM, 2010).

Os agregados são determinantes na durabilidade, resistência e desempenho estrutural do concreto, com grande importância na fase fresca, endurecida e em toda sua vida útil. Segundo Almeida (2009), por isso os agregados devem ser isentos de qualquer tipo de açúcar, porque impede a pega do cimento e isento de impurezas como terra, argila e húmus. Além de apresentar uma baixa concentração de componentes prejudiciais como cloretos, no máximo 0,02%, e sulfatos, no máximo 1%.

Estes materiais podem ser classificados de acordo com a origem (naturais, industrializados, miúdo e graúdo), em relação as dimensões das partículas (miúdo e graúdo) e ao peso específico aparente (leves, médios e pesados).

Segundo Bauer (2000), os agregados naturais são que já se encontram em forma particulada na natureza como areia e cascalho, já os industrializados são os que têm sua

composição particulada obtida por processos industriais como rocha, escória de alto forno e argila.

Os agregados são classificados, quanto à granulometria, em agregados miúdos e agregados graúdos. Para serem classificados como miúdos, os agregados devem possuir diâmetro máximo de 4,75 mm até diâmetro mínimo de 150 μm , e assim, devem passar pela peneira número 4, de malha 4,75 milímetros e ficarem retidas na peneira de malha 150 μm , conforme a especifica a NBR-7211 (ABNT, 2009).

Os agregados graúdos, mais indicados para a fabricação dos blocos intertravados, são os resultantes do britamento de rochas estáveis (brita “0” ou “1”). Estes apresentam melhor aderência com a pasta de cimento, implicando em uma resistência mecânica mais elevada.

Os agregados miúdos podem ser naturais que são as areias, no qual é indicado que se tenha módulos de finura variando entre 2,5 e 3,2 para uma melhor compactação. Ainda nesse contexto, temos os artificiais, como pó de brita, os quais são provenientes do processo de produção de agregados graúdos.

2.6.3 Água

De acordo com COSTA (2014) a água é responsável por promover a hidratação dos aglomerante e influencia diretamente na trabalhabilidade. Sua quantidade deve garantir uma boa trabalhabilidade, assim como que toda a mistura seja hidratada, evitando a segregação dos seus constituintes. A água para a fabricação dos blocos intertravados de concreto deve estar isenta de substâncias que possam prejudicar as reações de endurecimento do cimento. Com isso, considera toda água potável como apropriada para uso em concreto. Águas não potável devem atender aos requisitos da norma NBR 6118 (2014) para serem utilizadas como água de amassamento e cura.

Deve-se evitar o excesso, utilizando somente o necessário para ocorrer as reações químicas, e facilitar a trabalhabilidade do concreto. O fator água/cimento é de extrema importância na produção do concreto. A resistência mecânica, a estanqueidade e a durabilidade estão diretamente ligados à quantidade de água que é adicionada na mistura (AMORIM, 2010).

2.6.4 Aditivos

Aditivos são produtos adicionados no concreto com o objetivo de melhorar ou modificar algumas de suas características, bem com facilitar na sua trabalhabilidade. Quando

utilizados corretamente, diminui a segregação, a pega, o endurecimento, o conteúdo de ar ou de outros gases no concreto, a resistência a ações físicas, as ações mecânicas, ações químicas, melhora a durabilidade e a resistência mecânica do concreto (AMORIM, 2010).

Com a mesma finalidade usada em concretos convencionais, o uso de aditivos em pavimentos intertravados de concreto permeável se mostra interessante para a obtenção de propriedades especiais. O uso de aditivos plastificantes pode se tornar vantajoso para garantir uma melhor trabalhabilidade do material, conforme citado por Silva et al. (2014).

A ABNT através da NBR 11768/2011, estabelece a classificação a seguir para os aditivos:

Quadro 1: Classificação dos aditivos

Plastificante (tipo P)	Aumenta o índice de consistência do concreto, mantendo a quantidade de água de amassamento, ou que possibilita a redução de, no mínimo, 6% da quantidade de água de amassamento para produzir um concreto com determinada resistência.
Retardador (tipo R)	Aumenta os tempos de início e fim de pega do concreto.
Acelerador (o A)	Diminui os tempos de início e fim de pega do concreto e acelera o desenvolvimento das suas resistências iniciais.
Plastificante retardador (tipo PR)	Combina os efeitos dos aditivos plastificantes e retardadores.
Plastificante acelerador (tipo PA)	Combina os efeitos dos aditivos plastificantes e aceleradores.
Incorporador de ar (tipo IAR)	Incorpora pequenas bolhas de ar ao concreto.
Superplastificante (tipo SP)	Aumenta o índice de consistência do concreto, mantendo a quantidade de água de amassamento, ou possibilita a redução de, 25 no mínimo, 12% da quantidade de água de amassamento para produzir um concreto com determinada consistência.
Superplastificante retardador (tipo SPR)	Combina os efeitos dos aditivos superplastificante e retardador.
Superplastificante acelerador (tipo SPA)	Combina os efeitos dos aditivos superplastificante e acelerador.

Fonte: NBR 11768 (2011).

Alguns fatores devem ser analisados para aplicação dos aditivos de forma a proporcionar os efeitos desejados, e dentre os fatores a serem verificados destacam-se (MARTIN, 2005):

- Tipo de cimento: composição do clínquer principalmente conteúdo de C3A e C3S; Adições, classe características (composição química, finura, forma), quantidade, conteúdo dos compostos alcalinos, finura, quantidade de cimento;
- Tipos de agregados: características; diâmetro máximo, granulometria, conteúdo de finos, porosidade, forma;
- Tipos de aditivos: quantidade e dosagem, temperatura ambiente, condições para realizar a mistura.

2.6.5 Adição de minerais

As adições minerais que geralmente são usadas na indústria brasileira de construção civil são: sílica ativa (SiO_2), metacaulim ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$), cinzas volantes ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}$) e escória de alto forno ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$). Tem a função geralmente de controlar a eflorescência, aumentar a resistências à abrasão, à compressão e à tração na flexão no cimento.

As adições minerais, são classificadas de acordo com a possibilidade de haver ação aglomerante potencial ou não, sendo denominadas como predominantemente reativas (APR) e predominantemente inertes (API). Assim, as APR, interagem química e fisicamente com os produtos da hidratação do cimento Portland, modificando a microestrutura da pasta, que são por exemplo materiais pozolânicos e cimentício (CAVALCANTI, 2006).

Já as API são incorporadas ao concreto em substituição ao agregado miúdo, por serem partículas mais finas têm a ação física de promover maior compacidade e refinamento de poros do concreto, aumentando a densidade e preenchendo vazios. (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Alguns exemplos de adições minerais são citados por Mehta e Moteiro (2008) de acordo com suas propriedades:

- Cimentantes: Escória granulada de alto forno;
- Superpozolanas: Sílica ativa, metacaulim e cinzas de casca de arroz;
- Pozolanas comuns: Cinzas volantes com baixo teor de cálcio, argilas calcinadas e materiais naturais (origem vulcânica e sedimentar);

- Pozolanas pouco reativas: Escória de alto forno resfriada lentamente, cinzas de forno, escória de caldeira e palha de arroz queimada em campo;
- Adições Inertes (filler) : Cálcario, pó de cálcio e pó de pedra.

2.7 PROJETO E DIMENSIONAMENTO DOS BLOCOS INTERTRAVADAS

Segundo Senço (2001) o dimensionamento do bloco varia de acordo com o tipo de tráfego que o pavimento irá suportar. Normalmente, utiliza-se um traço de 1:3:3 (cimento: agregado miúdo: agregado graúdo) e a relação água/cimento é de 0,4 por ser com vibração. Porém, essa dosagem irá variar de acordo com as propriedades dos materiais usados como matéria-prima para a fabricação.

E suas propriedades de inspeção visual, absorção de água, resistência à abrasão e resistência a compressão devem estar de acordo com a NBR 9781/2013 que trata de peças de concreto para pavimentação.

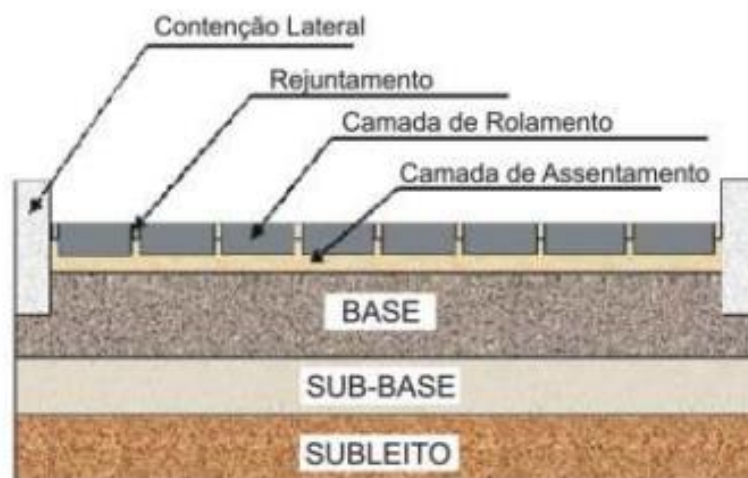
De acordo com T&A (2004) para se dimensionar um pavimento são necessários alguns dados de projeto, tais como:

- Índice de Suporte Califórnia (CBR): determina a capacidade de suporte do solo;
- Cargas: tipo de carga que atuará no pavimento (móvel ou estática), a magnitude ou quantidade, a frequência e a configuração;
- Período de Projeto a ser adotado (anos).

No dimensionamento são estabelecidos as espessuras e os materiais a serem utilizados nas camadas de subleito, sub-base e base do pavimento. Determina-se também a espessura da peça de concreto a ser usada na camada de rolamento.

Assim sendo, a seção típica do pavimento fica estabelecida, conforme a Figura 14 a seguir:

Figura 14: Seção transversal típica da estrutura final do pavimento intertravado



Fonte: T&A, 2004.

2.8 CONTROLE DE QUALIDADE

Controle de qualidade são parâmetros adotados para estabelecer padrões em produtos e procedimentos com intuito de melhorar a qualidade e diminuir os defeitos na peça final. O controle de qualidade na fabricação de pisos intertravados de concreto é de fundamental importância para certificar a qualidade das peças. Segundo a NBR 9781/2013 as análises de dimensão, absorção de água e a resistência à compressão são parâmetros fundamentais para constatar a qualidade final dos produtos.

Peças defeituosas ou mal assentadas podem favorecer ao surgimento de patologias ao longo de sua vida útil, onde contribuem para a diminuição da qualidade estrutural e funcional do pavimento. Esses defeitos ocorrem devido às ações do tráfego e condições climáticas, onde agem sobre o pavimento com determinadas características mecânicas e geométricas ocasionando solicitações no pavimento que alteram as suas características iniciais (FRANCISCO, 2012).

São considerados dois grupos de fatores que provocam a degradação dos pavimentos: os fatores passivos e os fatores ativos. Os passivos dependem do pavimento, principalmente das espessuras, do material e da qualidade de construção. Já os fatores ativos deterioram o pavimento através das ações do tráfego e do clima, sendo estes fatores, os principais culpados pelas danificações dos pavimentos (PEREIRA; MIRANDA, 1999).

Assim, a formação das patologias no pavimento está ligada, em geral, falta de controle de qualidade na produção dos blocos, pela má execução do projeto, falhas construtivas,

problemas na escolha dos materiais selecionando materiais de baixa resistência na construção das camadas e inadequações nas alternativas de conservação e manutenção.

2.9 ENSAIOS TECNOLÓGICOS

2.9.1 Inspeção visual

A inspeção visual é o primeiro ensaio aplicado em qualquer tipo de peça ou componente, e está frequentemente associado à qualidade do seu processamento. É o ensaio mais usual por ser o mais simples, pois o fato de observar a aparência da estrutura de concreto que pode levantar observações sobre a confiabilidade do produto final e além disso, buscar solucionar problemas na linha de processamento do bloco.

De acordo NBR 9781/2013 as peças de concreto constituintes do lote devem ser inspecionadas visualmente, objetivando a identificação de peças com defeitos que possam vir a prejudicar o assentamento, o desempenho estrutural ou a estética do pavimento.

Em vista disso, as peças de concreto devem apresentar aspecto homogêneo, arestas regulares e ângulos retos e devem ser livres de rebarbas, defeitos, delaminação e descamação, devendo atender também o item 5.3 da NBR 9787/2013 que impõe que o ângulo de inclinação das peças de concreto deve ser 90°. O ângulo das peças deve ser avaliado com esquadro, devendo a peça ser apoiada em uma superfície plana. Pequenas variações de coloração nas peças em virtude do processo de fabricação e da variação das matérias-primas são admitidas. O padrão de cor dos lotes deve ser acordado previamente entre o fornecedor e ao cliente.

2.9.2 Absorção de água

A NBR 9781/2013 estabelece que as peças de concreto devem apresentar absorção de água com valor médio menor ou igual a 6%, não sendo admitido nenhum valor individual maior do que 7%.

2.9.3 Resistência à abrasão

A NBR 9781/2013 estabelece que a resistência à abrasão é facultativa, devendo ser especificada pelo projetista. Este requisito será importante nos pisos sujeitos à abrasão intensa como áreas de manobras de veículos pesados, armazenamento de cargas pesadas, tráfego

intenso. O Quadro 2 apresenta valores de critério de resistência à abrasão de acordo com o tipo de tráfego da via.

Quadro 2: Critérios para resistência à abrasão

Solicitação	Cavidade máxima mm
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha	≤ 23
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados	≤ 20

Fonte: NBR 9781 (2013).

2.9.4 Resistência à compressão

As peças de concreto utilizadas no pavimento intertravado devem atender às especificações da NBR 9781/2013, para garantir grande durabilidade ao pavimento. Segundo a NBR 9781/2013, resistência mecânica à compressão das peças deve estar de acordo com o quadro 2.

Quadro 3: Resistência característica à compressão

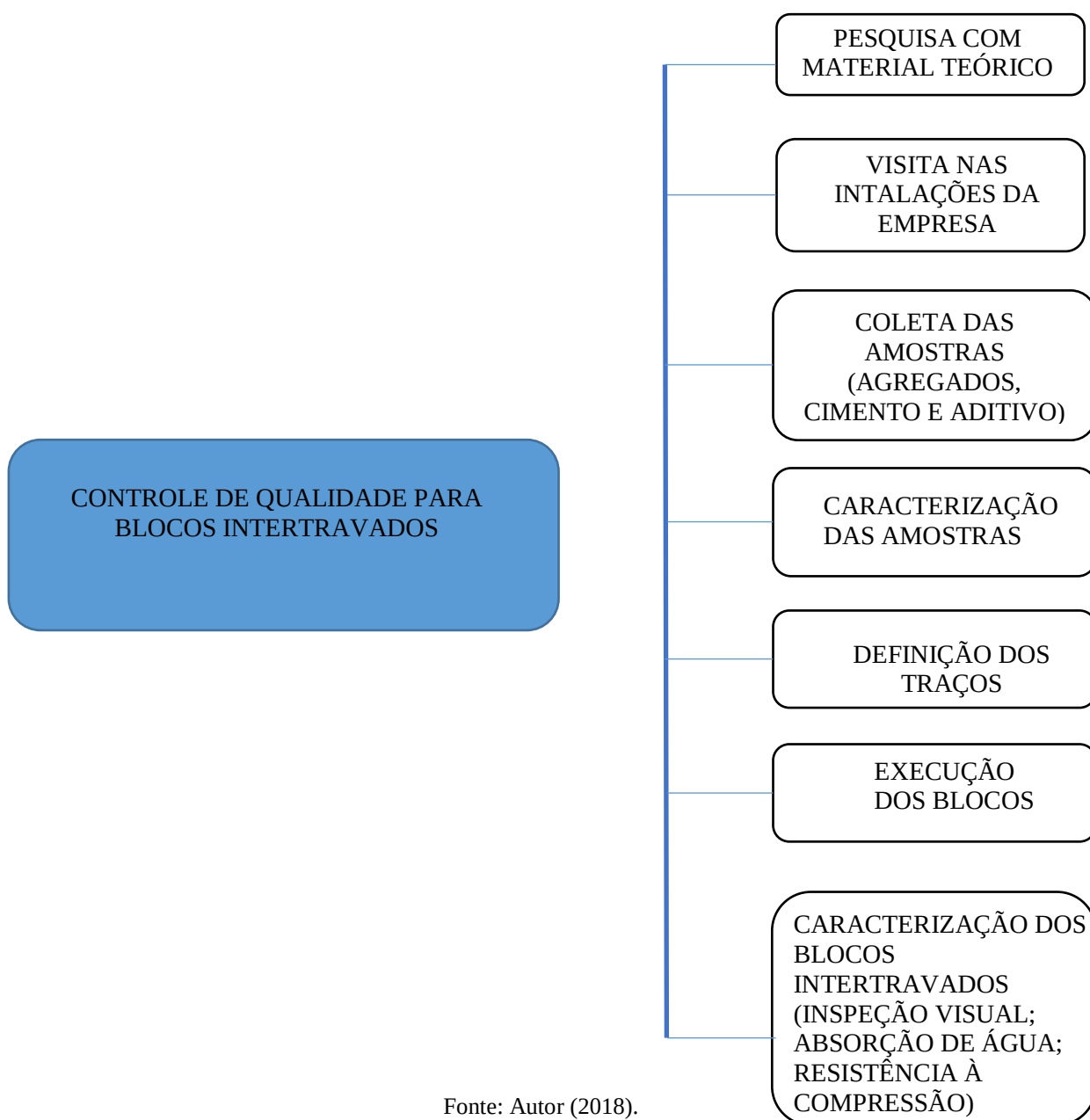
Solicitação	Resistência característica à compressão (Fpk) aos 28 dias MPa
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha	≥ 35
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados	≥ 50

Fonte: NBR 9781 (2013).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste tópico serão apresentados os materiais, métodos utilizados no decorrer do trabalho. A metodologia utilizada para concretização das etapas desse estudo obedece ao fluxograma 2 representado na Figura 15. Ilustrou as etapas de produção dos blocos, o primeiro passo foi feito uma pesquisa com material teórico, posterior realização da visita as instalações da empresa em *in loco*, depois a coletas das amostras (agregados, cimento e aditivo), em seguida a caracterização deles, depois a definição do traço, em seguida a produção dos blocos e por último a caracterização das propriedades exigidas em norma para a utilização dos blocos intertravados.

Figura 15: Fluxograma do estudo



Fonte: Autor (2018).

3.1 LOCAL DA PESQUISA

A produção dos blocos intertravados foi realizada na empresa de Pré-moldados, localizado em uma zona rural no município de Pau dos Ferros-RN.

Os ensaios de inspeção visual, absorção de água e resistência à compressão foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção na Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Centro Multidisciplinar Pau dos Ferros. O ensaio de resistência à abrasão não foi realizado devido a limitações do laboratório, tendo em vista que o equipamento se encontrava com problemas técnicos. Além disso, a NBR 9781/2013 estabelece que a resistência à abrasão é facultativa, então optou-se por não analisar este ensaio em outro laboratório, visto que haveria de se locomover para outra cidade, pois não havia outro laboratório na cidade que realizasse esse ensaio.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAS

3.2.1 Cimento

Para fabricação dos blocos intertravados utilizou-se o cimento Portland CII – Z – 32 - RS da marca MIZU (Figura 16). Esse tipo de cimento apresenta bom desempenho nas estruturas de concreto que entram em contato com ambientes agressivos, como aqueles sujeitos ao ataque de sulfatos, esgotos, água do mar. Além disso, apresentam boa resistência à abrasão, endurecimento rápido, pequeno índice de retração e indicado para elementos pré-moldados com cura acelerada.

Figura 16: Cimento utilizado na produção dos blocos.



Fonte: Autor (2018).

3.2.2 Agregado miúdo

Para a fabricação dos blocos, o agregado miúdo utilizado foi a areia natural fornecida pela empresa parceira, obtida nas margens do rio Apodi mostrado na Figura 17. Realizou-se a lavagem da areia previamente, em seguida foi peneirada com a peneira de abertura 4,75mm.

Figura 17: Agregado miúdo utilizado na produção dos blocos.



Fonte: Autor (2018).

As características do agregado miúdo exercem grande influência nas propriedades futuras dos blocos. Então, com finalidade de se obter a caracterização desse material foram realizados os ensaios de granulometria pelo método do peneiramento e massa específica. Os ensaios das massas específicas seguiram os procedimentos descritos na NBR NM 52/2009 e na NBR NM 45/2006, normas as quais têm por objetivo - estabelecer o método de determinação da massa específica real e da massa unitária, respectivamente, dos agregados miúdos a serem usados em concreto.

O ensaio para obtenção de granulometria do agregado miúdo foi realizado adotando os procedimentos descritos na NBR NM 248/2003, que tem como objetivo determinar a distribuição granulométrica do solo, ou seja, busca estabelecer a porcentagem que cada faixa de dimensão de grão representa na amostra. A NBR NM 248/2003 classifica os agregados miúdos segundo a Tabela 1.

Tabela 1: Classificação dos agregados miúdos segundo o módulo de finura.

AGREGADO	MÓDULO DE FINURA
Muito Grosso	$MF \geq 3,9$
Grosso	$3,30 \leq MF < 3,90$
Médio	$2,4 \leq MF < 3,30$
Fino	$MF < 2,40$

Fonte: NBR NM 248 (2003).

Para a realização desse ensaio, assim como foi estabelecido na norma, foram utilizadas duas amostras. Por fim, os dados foram obtidos a partir da aplicação do Método da Curva.

3.2.3 Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado foi a brita granítica na produção de blocos de concreto, mostrado na Figura 18, também fornecida pela empresa de Pré-moldado, que foi comprado a um britador no município de Caraúbas-RN a aproximadamente 110 km do município de Pau dos Ferros. Sendo utilizada a fração passante na peneira de abertura 75 mm e retida na peneira de abertura 4,75 mm.

Figura 18: Brita utilizada para a produção dos blocos



Fonte: Autor (2018).

A caracterização da massa específica, tomou-se como base os ensaios de massa específica real e de massa unitária seguiram os procedimentos descritos na NBR NM 53/2009 e na NBR NM 45/2006, respectivamente, as quais possuem como objetivo de estabelecer o método de determinação da massa específica real, e da massa específica aparente, destinados ao uso em concreto. Foram utilizadas duas amostras para estes ensaios, conforme é posto em norma.

Quanto aos ensaios realizados de granulometria do agregado graúdo, foram realizados cumprindo os procedimentos descritos na NBR NM 248/2003, a qual tem por objetivo a determinação da composição granulométrica dos agregados, miúdos e graúdos, para concreto, estabelecendo assim a percentagem que cada faixa de dimensão de grão representa na

amostra. Após repetido o ensaio para duas amostras, como exige a norma, as informações finais foram tabuladas e processadas fundamentadas no método da curva.

3.2.4 Água

A água de amassamento utilizada na dosagem da mistura dos paver foi proveniente da rede de abastecimento local, fornecida pela CAERN – Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte. A ABNT NBR 15900/2009 aprova para o uso no concreto sem a necessidade de ser ensaiada, a água proveniente do abastecimento público, logo não foram necessários ensaios para a água.

3.2.5 Desmoldante

O desmoldante aplicado foi o ECONOMOLD da Pluralquímica, usado para a facilitação do desmolde de concreto em fôrmas. O produto age através de formação de película sobre as superfícies aplicadas, impedindo a aderência do concreto, aumentando a vida útil das fôrmas, aumentando a produtividade do processo de desmolde e garantindo um ótimo acabamento da peça desmoldada.

3.3 DOSAGEM E PRODUÇÃO DO BLOCO INTERTRAVADO

3.3.1 Traço e dosagem

De acordo com o responsável da empresa, o traço usado para a produção dos blocos foi 1: 3: 2 (cimento; areia; brita) e aproximadamente 36 l de água. A quantidade de água está quase sempre sujeita a alteração, visto que foi relacionada às características do agregado, podendo o mesmo estar mais úmido ou mais seco dependendo da variação climática e da forma que é estocado. Assim, ocorreu uma variação na quantidade de água adicionada que foi prevista no traço. A relação de água é dada para 1 saco de cimento (aproximadamente 50 kg) em função das padiolas de agregados.

A padiola utilizada, também é conhecida popularmente como carro de mão, possui dimensões de 54x35x26 cm, assim tem um volume aproximado de 50 dm³. Conhecido o volume da padiola e a massa unitária da areia (1,47 kg/dm³), foi calculado a massa de 2 padiola de areia, sendo essa de 147,00 kg. Dessa forma calculou-se o volume de brita de 1,5

padiola (1 padiola e meia), com massa unitária da brita ($1,37 \text{ kg/dm}^3$), calculou-se a massa obtendo-se 103,00kg. Considerou-se também a massa unitária do cimento como sendo 1 kg/dm^3 .

Obtendo, assim, o traço em massa para um saco de cimento:

$$50 : 147,00 : 103,00 : 36$$

Obteve-se a partir dele o traço unitário em massa, sendo:

$$1 : 2,94 : 2,06 : 0,72$$

Como a empresa já tinha um traço padrão que comumente usava em sua execução optou-se em estudar a princípio este traço pelo fato de seus produtos já estarem submetidos à solicitações (em uso), e assim fazer a caracterização dos blocos já produzidos.

3.3.2 Quantitativo de materiais

Após a definição do traço, calculou-se a quantidade dos materiais a serem utilizados para a confecção dos 120 blocos, pois é em média o número de rendimento de cada produção. O levantamento do quantitativo do consumo de materiais pode ser conferido na Tabela 2.

Tabela 2: Quantidade de materiais necessários à produção de 120 blocos.

MATERIAL	QUANTIDADE
Cimento	1 saco
Agregado miúdo	2 padiola
Agregado graúdo	1,5 padiola
Água	2 baldes de água (18L)

Fonte: Autor (2018).

3.3.3 Equipamentos utilizados

O processo de produção do pavers ocorreu na fábrica e foi realizada pelo próprio colaborador da empresa. Os equipamentos utilizados têm características de uma empresa de pequeno porte não possuindo por exemplo vibroprensas.

A seguir são apresentados alguns dos principais equipamentos e instalações, presentes na fábrica parceira, que foram utilizados para a produção dos pavers do presente trabalho.

- Betoneiras

São equipamentos utilizados para a mistura dos agregados, aglomerantes, água e aditivos, com objetivo de deixar a massa a mais homogênea possível. A betoneira utilizada pela empresa parceira é da marca CSM, 1 Traço Super 400L Monofásico 220V com rotação do motor de 26 rpm, conforme apresentada na Figura 19.

Figura 19: Betoneira utilizada para a produção dos blocos



Fonte: Autor (2018).

- Mesa vibratória

A mesa vibratória para pisos pavers é utilizada para se compactar o concreto em formas de plástico ou de metal. A compactação do concreto desenvolvida pela mesa vibratória tem intuito de proporcionar peças exatamente iguais. A mesa utilizada pela empresa é da marca Marajó Máquinas e Equipamentos, modelo MV 2X1 com medidas de 2 x 1 m e motor elétrico 1,5 cv 2 polos.

O tempo de vibro-enchimento está relacionado com a duração de enchimento, porém, ao mesmo tempo em que despeja a mistura na fôrma, esta vibra para melhor adensar a massa;

3.3.4 Produção dos blocos

Os materiais para a produção dos pavimentos foram misturados numa betoneira estacionária de eixo inclinado, com capacidade de 400 litros. O processo de mistura teve como objetivo de gerar a melhor união e interação entre os materiais particulados e granulados entre os materiais componentes do concreto, isso pode gerar a otimização da homogeneidade dos materiais de partida. Esses fatores podem garantir a melhor qualidade do produto final.

Antes de adicionar o material na betoneira, ela foi lavada de forma a garantir que nenhum constituinte indesejado estivesse presente na mistura e também uma forma de umedecer para impossibilitar que parte da água de amassamento fosse absorvida pela parede interno equipamento.

Então com a betoneira devidamente ligada, foi adicionado o agregado graúdo (brita) e seguidamente foi adicionado cerca de 50% da água de amassamento. Logo após, adicionou-se cerca de 50% do agregado miúdo (areia) à mistura e posteriormente, foi adicionado 100% da quantidade de cimento definida na dosagem, inseriu o restante do agregado miúdo e por fim, adicionou-se o restante da água de amassamento. O equipamento permaneceu ligado após a inclusão da matéria prima por cerca de 5 minutos, para a devida mistura e homogeneização dos materiais.

Depois de feita a mistura, foi posto em uma padiola previamente umedecida e o concreto em seu estado plástico foi lançado nas formas, nas quais estavam umedecidas com borrifadas de aditivos desmoldastes, e adensadas em mesa vibratória com uma duração de 1 minuto. As formas usadas foram nos modelos de 16 faces (lobo-guará) e duplo T. Passado o processo de adensamento foi feito o processo de acabamento onde foi realizado o processo de alisamento na superfície superior, que garantiu que o concreto ficasse rente a placa. Esse procedimento é realizado em cima da mesa vibratória, pois o concreto que cai em excesso é posto novamente na betoneira para ser reaproveitado.

Logo em seguida foram retiradas da mesa e colocadas em uma superfície plana e protegida de intemperes onde permaneceu por 24 horas, esse procedimento é denominada produção dormida, procedendo o desmolde no dia seguinte da moldagem. Como os moldes são de plástico, aço ou fibra este processo gera peças com um acabamento superficial mais liso, resultando em uma aparência estética mais agradável.

Por fim, os blocos são arranjados em paletes onde são postos para serem comercializados a partir do sétimo dia após a confecção. Os mesmos podem ser visualizados na Figura 20, a seguir.

Figura 20: Estocagem para vendas



Fonte: Autor (2018).

3.4 ENSAIOS NOS BLOCOS

3.4.1 Inspeção visual

Na realização deste ensaio foram analisadas seis amostras de cada tipo de modelo e a princípio foi observado se as peças apresentavam um aspecto visual homogêneo, livres de rebarbas, defeitos, delaminação e descamação conforme as Figuras 21(a), 21 (b) e 21(c).

Figura 21 (a): Inspeção bloco T;



Fonte: Autor (2018).

Figura 21 (b): Inspeção em bloco de 16 faces;



Fonte: Autor (2018).

Figuras 21(c): Inspeção blocos intertravados.



Fonte: Autor (2018).

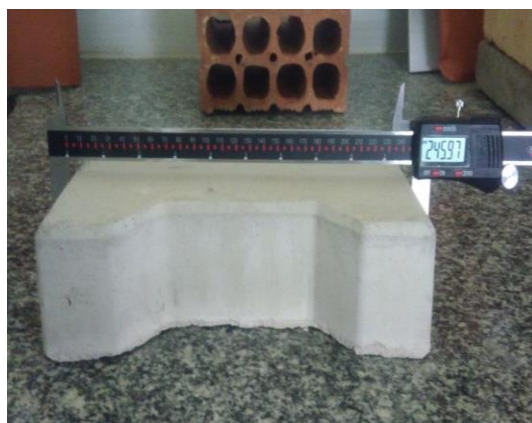
As medições de espessura, comprimento e largura, apresentadas nas Figuras 22 e Figuras 23, foram realizadas através de um paquímetro digital 300 mm 0,01mm da marca Standard Gage.

Figura 22 (a): Medição de espessura



Fonte: Autor (2018).

Figura 22 (b): Comprimento



Fonte: Autor (2018).

Figura 22 (c): Largura



Fonte: Autor (2018).

Figura 23 (a): Medição de espessura

Fonte: Autor (2018).

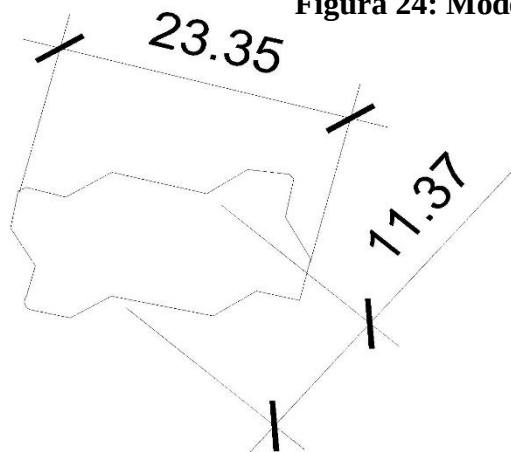
Figura 23 (b): Comprimento

Fonte: Autor (2018).

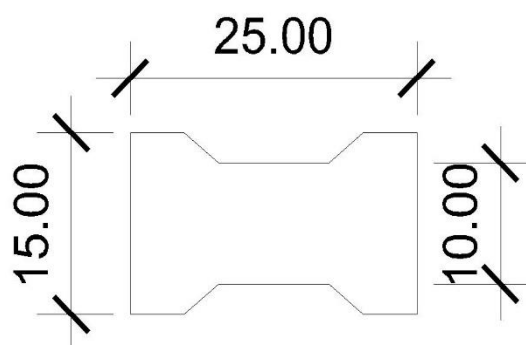
Figura 23 (c): Largura

Fonte: Autor (2018).

Além de realizar medições através de paquímetros, foi realizado as modelagens das formas no AutoCad versão 2016 para averiguar se as dimensões correspondiam as exigidas pela norma, apresentadas nas Figuras 24.

Figura 24: Modelagem 16 faces e duplo T

Fonte: Autor (2018).



Fonte: Autor (2018).

3.4.2 Determinação da absorção de água

Este ensaio para determinação da absorção de água seguiu as prescrições da NBR 9781/2013. O mesmo tem como objetivo avaliar a velocidade de absorção de água através de imersão. Para o ensaio foi aplicado 3 blocos de cada tipo de formato, na idade superior a 28 dias. Conforme recomenda a norma, essas características foram obtidas após a permanência 24 horas de imersão na água e posteriormente mais 24 horas na estufa a uma temperatura de $(100 \pm 5) ^\circ\text{C}$, conforme Figura 25. A estufa utilizada para secagem dos blocos foi da marca Solab, Modelo SL-102, com circulação e renovação de ar, digital e 480 litros.

Figura 25: Blocos na estufa



Fonte: Autor (2018).

3.4.3 Resistência à compressão

A resistência à compressão dos intertravados pode ser citada como uma das principais propriedades mecânicas do mesmo. Esta pode ser mensurada a partir de ensaios em laboratórios, que seguem critérios estabelecidos pelas normas técnicas e estão submetidos a condições específicas. Comumente, os ensaios nos blocos são realizados para controle de qualidade e para verificar se eles atendem às especificações requeridas em projeto.

Todos os materiais e métodos utilizados neste ensaio obedecem ao procedimento descrito na NBR 9781/2013, assim foram aplicadas 6 amostras para garantir a confiabilidade do ensaio conforme rege a normativa. Também, conforme a norma os mesmos devem ser

submersos em água limpa por no mínimo 24 horas para que os pisos possam ser ensaiados em condições que simulem chuva intensa e umidade excessiva, conforme a Figura 26.

Figura 26: Blocos imersos em baldes de 20l com água potável.



Fonte: Autor (2018).

O equipamento utilizado para o rompimento dos corpos-de-prova foi à prensa hidráulica da marca Solocap, Modelo CI 100/200 toneladas força, mostrada nas Figuras 27(a) e 27(b).

Figura 27(a): Bloco antes da ruptura



Fonte: Autor (2018).

Figura 27(b): Bloco depois da ruptura



Fonte: Autor (2018).

4 RESULTADOS E DISCURSÃO

Nesta sessão são apresentados e discutidos os resultados referentes aos ensaios de caracterização do agregado miúdo, caracterização do agregado graúdo, inspeção visual, absorção de água, resistência a tração e resistência à compressão para o bloco em estudo. Ainda nesse tópico é feito a comparação dos dois tipos de blocos através resultados obtidos nos ensaios de caracterização.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO

4.1.1 Massa específica real e massa unitária

São apresentados na Tabela 3 os valores obtidos neste ensaio, o agregado miúdo apresentou uma massa específica real de 2,611 kg/dm³ e uma massa unitária de 1,473 kg/dm³. Em ambos os ensaios os valores foram obtidos a partir da média dos resultados de duas amostras.

Tabela 3: Dados do ensaio de massa específica e massa unitária

Ensaio	Massa específica real (kg/dm³)	Massa unitária (kg/dm³)
Amostra 1	2,614	1,463
Amostra 2	2,608	1,484
Média	2,611	1,473
Desvio Padrão	0,004	0,015

Fonte: Autor (2018).

Os valores obtidos para o agregado miúdo em análise estão dentro da faixa de resultados comumente encontrados em outras literaturas relacionadas, podendo classifica-los como valores satisfatórios.

4.1.2 Ensaio de massa específica

Neste ensaio foi possível obter a composição granulométrica, o módulo de finura e a dimensão máxima do agregado. Na Tabela 4 são mostrados os valores de granulometria encontrado através da metodologia utilizada, conforme a NBR NM 248/2003.

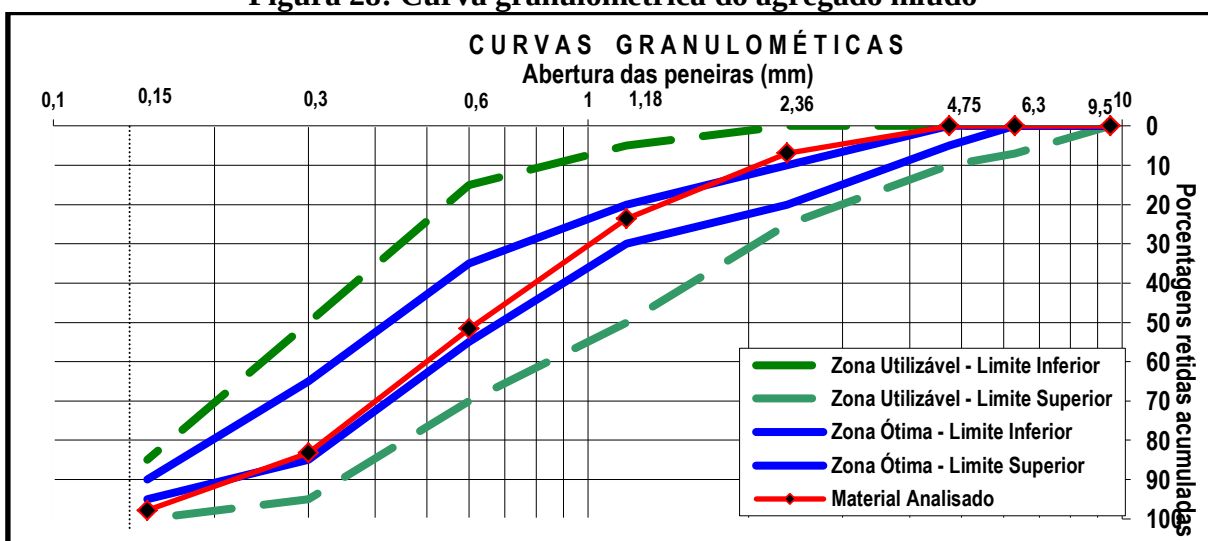
Tabela 4: Composição granulométrica do agregado miúdo

Abertura das peneiras (mm)	Massa retida (g)		Percentagem média (%)	
	Amostra 1	Amostra 2	Retida	Acumulada
9,5	0	0	0	0
6,3	0	0	0	0
4,75	0	0	0	0
2,36	32,7	36,8	6,9	6,9
1,18	81,8	84,9	16,7	23,6
0,6	143,9	135,2	28,0	51,6
0,3	159,9	156,6	31,6	83,2
0,15	70,9	75,4	14,6	97,8
<0,15	10,8	11,1	2,2	100,0
TOTAL	500,0	500,0	100,0	

Fonte: Autor (2018).

A distribuição granulométrica do agregado está demonstrada através da curva granulométrica indicada na Figura 28.

Figura 28: Curva granulométrica do agregado miúdo



Fonte: Autor (2018).

Com base na análise dos resultados foi possível verificar que o agregado miúdo utilizado possui um módulo de finura igual 2,63 e um diâmetro máximo característico igual a 4,75 mm sendo caracterizada como uma areia média. Portanto, de acordo com a NBR 7211/2009, a qual define o intervalo do módulo de finura da zona ótima entre os valores de 2,20 a 2,90, e conforme o gráfico apresentado. Foi possível observar que a curva granulométrica do material analisado encontra-se dentro da faixa utilizável e quase inteiramente inserida na zona ótima, conforme recomendado na NBR 7211/2009.

Esta característica interfere na definição do traço, pois as dimensões das partículas da areia têm relação direta com a fluidez da massa e na porção de água absorvida pelos poros do agregado, com a possibilidade de causar assim, uma redução na resistência mecânica.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO

4.2.1 Massa específica real e massa unitária

Na Tabela 5 foi possível verificar os valores médios correspondentes aos dois ensaios de massa específica. Constatou-se que o agregado graúdo apresentou uma massa específica real de 2,643 kg/dm³ e uma massa unitária de 1,370 kg/dm³.

Tabela 5: Dados do ensaio de massa específica e massa unitária

Ensaio	Massa específica real (kg/dm³)	Massa unitária (kg/dm³)
Amostra 1	2,642	1,367
Amostra 2	2,645	1,373
Média	2,643	1,370
Desvio Padrão	0,002	0,004

Fonte: Autor (2018).

Os valores obtidos para o agregado graúdo também se enquadram na faixa de resultados frequentemente encontrados em outras literaturas relacionadas.

4.2.2 Análise Granulométrica

A Tabela 6 expõe a composição granulométrica do agregado graúdo empregado para fabricação dos blocos de concreto.

Tabela 6: Composição granulométrica do agregado graúdo

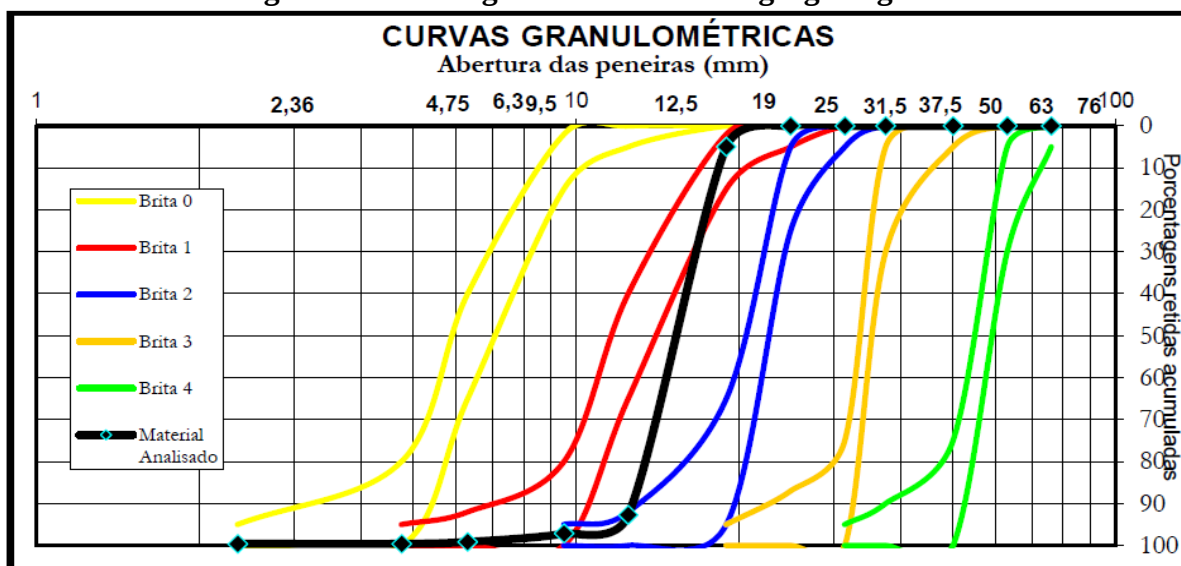
Abertura das peneiras (mm)	Massa retida (g)		Percentagem média (%)	
	Amostra 1	Amostra 2	Retida	Acumulada
19	246,0	250,0	5,0	5,0
9,5	4576,0	4646,0	92,2	97,2
6,3	105,0	93,0	2,0	99,1
4,75	40,2	5,0	0,5	99,6
<4,75	32,8	6,0	0,4	100,0
TOTAL	5000,0	5000,0	100,0	

Fonte: Autor (2018).

Os resultados a cima foram alcançados com a realização do ensaio granulométrico. Tem que ressaltar que o laboratório de Engenharia Civil da UFERSA - CMPF não possui todas as peneiras necessárias para realização do ensaio, o qual foi executado apenas com as peneiras que conta na referida Tabela.

Além da composição granulométrica foi possível obter também, o módulo de finura e a dimensão máxima do agregado, com valores de 7,0 e 19 mm respectivamente. A Figura 29 exhibe a curva granulométrica, pode-se observar que a curva do material analisado se encontra em parte na zona 9,5/25, podendo ser classificado com base na NBR 7211/2009, como brita 1.

Figura 29: Curva granulométrica do agregado graúdo



Fonte: Autor (2018).

4.3 PRODUÇÃO DOS BLOCOS INTERTRAVADOS

Devido à falta de balanças adequadas para pesagem dos agregados, utilizaram-se os dados de massa unitária para transformar a massa dos materiais em volume. Dessa forma, os materiais foram dosados em padiolas e baldes com volumes de 18 litros. Podendo assim, variar na quantidade de volume adicionada na mistura, pois os instrumentos não possuem menisco volumétrico para averiguar se realmente está sendo posto a dosagem correta.

Observou-se também, que o tempo de vibração na mesa vibratória não necessariamente obedeceu ao tempo estimado de 1 minuto, pois para dar agilidade na produção em algumas vezes eles só olham superficialmente se a massa esta aparentemente adensada. Não respeitando assim o tempo necessário.

4.4 INSPEÇÃO VISUAL

O traço utilizado pela empresa parceira apresentou um resultado de bom aspecto visual, onde a mistura foi bem compactada e a textura era ideal para a produção de pavers. Em relação às medidas de espessuras os dois modelos se apresentaram dentro da normalidade estabelecida pela norma com espessura de no mínimo 60 mm apresentando o Duplo T 60 mm e o de 16 faces 75 mm que é 60mm. Em praças e calçadas de pedestres, por exemplo, são indicadas peças menores, de 6 cm de espessura. Ruas e avenidas pedem peças de 8 cm de espessura.

4.5 ABSORÇÃO DE ÁGUA

A tabela 7 apresenta os valores percentuais de absorção de água, para o traço estudado. Tais valores foram obtidos através da variação entre a massa do bloco seco e do bloco saturado. Posteriormente foi feito a média dos percentuais das três amostras ensaiadas, em ambos os modelos de concreto. Determinou-se o teor de absorção de água conforme a equação abaixo (1):

(1)

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100$$

onde,

A é a absorção de cada corpo e prova, expressa em porcentagem (%);

m_1 é a massa do corpo de prova seco, expressa em gramas (g);

m_2 é a massa do corpo saturado, expressa em gramas (g).

Tabela 7: absorção de água

16 FACES	m_1	m_2	A	DUPLO T	m_1	m_2	A
Amostra 1	3833,7	4094,4	6,81%	Amostra 1	3479,7	3724,4	7,00%
Amostra 2	3779,5	4093,5	8,30%	Amostra 2	3506,4	3766,7	7,13%
Amostra 3	3986,6	4242,9	6,00%	Amostra 3	3527,9	3742,2	6,07%
	Média		7,04%			Média	6,83%
	Desvio Padrão		1,167			Desvio Padrão	0,578

Fonte: Autor (2018).

Os resultados obtidos são promissores, porém muito ainda deve ser estudado para o índice de absorção de água exigida. Com a análise desses resultados foi possível verificar que nenhum modelo atendeu os requisitos estabelecidos em norma. Relatou-se que nenhuma das peças de concreto devem apresentar absorção de água com valor médio menor ou igual a 6%, não sendo admitido nenhum valor individual maior do que 7%.

4.6 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

As Tabelas a seguir apresenta os valores de resistência a compressão dos 2 modelos de pavers, produzidos na empresa, na idade superior a 28 dias. A resistência da peça é obtida dividindo-se a carga de ruptura, expressa em (N), pela área de carregamento, expressa em milímetros quadrados (mm²), multiplicando-se os resultados pelo um fator p , em função da altura da peça, conforme a tabela 8.

Tabela 8: Fator multiplicativo p	
Espessura nominal da peça (mm)	p
60	0,95
80	1,0
100	1,05

Fonte: NBR 9781 (2013).

Assim, nas tabelas 9 e 10 são apresentados os resultados dos ensaios de resistência à compressão que foram realizados.

Tabela 9: Resultado do ensaio de resistência a compressão bloco do tipo duplo T

Carga de Ruptura (N)	Área (mm ²)	Fator multiplicativo	Resistência à Compressão (MPa)
636360	31181	0,95	19,39
810360	31181	0,95	24,69
725770	31181	0,95	22,11
507290	31181	0,95	15,46
471900	31181	0,95	14,38
579640	31181	0,95	17,66
Média			18,95
Desvio Padrão			3,95

Fonte: Autor (2018).

Tabela 10: Resultado do ensaio de resistência a compressão bloco do tipo 16 faces

Carga de Ruptura (N)	Área (mm ²)	Fator multiplicativo	Resistência à Compressão (MPa)
301700	22100	1,00	13,65
314460	22100	1,00	14,23
617000	22100	1,00	27,92
313450	22100	1,00	14,19
313970	22100	1,00	14,20
581140	22100	1,00	26,24
Média			18,41
Desvio Padrão			6,42

Fonte: Autor (2018).

Os resultados obtidos mostraram que nenhuma dos modelos atingiram a resistência mecânica esperada para pavers de concreto, que segundo a norma NBR 9781 a resistência mínima indicada é de 35 MPa, para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha. Deste modo, os blocos atingiram uma resistência esperada de aproximadamente 52,60% no modelo em duplo T e de 54,14% em relação ao de 16 faces, tem-se valores estando inferiores dos valores normativos.

O fato pode ser fundamentado por prováveis erros de dosagem, ou bem como pelo excesso de água inserida na mistura, o que foi bastante comum acontecer, uma vez que não foi realizado o controle tecnológico, podendo ocasionar, portanto, a diminuição da resistência à compressão das amostras.

Esse resultado não deve ser suficiente para a interdição da produção destes pisos, dado que o material obtido poderá ser aplicado em espaços com menor circulação.

Porém, deve ser feita a análise do traço para que seja alcançada a resistência mecânica esperada. Com a realização de ajustes visto que as características dos materiais estão conforme o especificado na norma ABCP de produção de concreto. Podendo diminuir o tempo de vida dos blocos.

Então, para atingir resultados mais significantes de resistência se faz necessário estudos associados a que tipo de cimento utilizar, como também a relação água/cimento que interfere nos resultados de resistência mecânica de peças produzidas em concreto. Além de, obedecer a um controle tecnológico na produção.

5 CONCLUSÕES

Mediante o evidenciado foi possível perceber que os pavimentos intertravados estão cada vez mais sendo aplicados atualmente devido à agilidade de execução, por terem uma manutenção mais simples, além de possuir um aspecto estético e apresenta vantagens do ponto de vista ambiental e econômico, uma vez que permite suprimir etapas da obra, economizando materiais e minimizar resíduos ao ambiente.

Assim, a presente pesquisa foi motivada como garantia de que a empresa parceira obtivesse seus produtos com propriedades fundamentadas em normas para serem comercializados atendendo as exigências estabelecidas. Tendo como principal propósito avaliar e comparar com as normas as propriedades dos blocos produzidos pela empresa de Pré-moldados.

- Em relação ao modo de produção se faz necessário fixar um tempo em relação a quantos minutos de mistura na betoneira e o tempo de adensamento na mesa vibratória.
- A característica da massa específica e granulometria dos agregados são satisfatórias. Sendo o da areia 2,611 kg/dm³ (massa específica) e 4,75 mm o diâmetro máximo e o da brita 2,643 kg/dm³ e 19 mm o diâmetro máximo. Indicando que os mesmos são de bom uso para a produção dos blocos.
- Constatou-se que os ensaios de inspeção visual tiveram uma boa aceitação estando dentro dos limites estabelecidos em norma, comprimento máximo de 246 mm, largura mínima de 101 mm e altura mínima de 60 mm.
- O ensaio de absorção de água observou-se que não está dentro do limite estabelecido em norma, talvez se faça necessário substituir uma parte da areia por areia fina. Visto que, possui um menor diâmetro das partículas, uma vez que reduz o volume dos vazios, aumentando a densidade do concreto e, conseqüentemente, diminuindo a absorção de água até certa quantidade de mistura. Dependendo da formulação granulométrica do traço, pode também melhorar a resistência à compressão e a vida útil das peças, devido ao processo de refinamento dos poros e dos cristais presentes na pasta de cimento hidratada.
- Para o ensaio de resistência mecânica, os intertravados apresentaram valores inferiores aos do esperado e do que a norma cita. Uma justificativa para esse problema é a baixa quantidade de agregado graúdo na composição. Percebeu-se que nos ensaios de resistência à compressão nenhum dos dois modelos atingiu a resistência máxima de projeto, de 35 MPa, apresentando uma resistência de aproximadamente 18,6 MPa, a qual representa em média 53% do valor máximo de projeto. Tal fato pode ser fundamentado em alguns fatores, prováveis erros de

dosagem dos materiais constituintes, adição em excesso de água na produção, a porosidade na matéria prima, bem como um possível mal adensamento dos blocos.

Conclui-se que a produção dos blocos intertravados da empresa parceira não se mostrou satisfatória as exigências previstas em norma. Mas isso não inviabiliza a utilização dos blocos já produzidos podendo os mesmos serem utilizados em situações onde não as solicitações são inferiores a 19 Mpa, como por exemplo em pátios de colégios infantis. Nessa perspectiva, evidencia-se a necessidade de um estudo mais aprofundado, visando identificar melhorias no traço padrão da empresa para se ter uma melhor absorção de água e melhorias na resistência a compressão.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir dos resultados obtidos no trabalho, tem-se a expectativa da realização de novos estudos, pois no decorrer da pesquisa viu-se que existe muitos parâmetros a serem melhorados para a caracterização de acordo com a NBR 9781/2013 que trata de peças de concreto para pavimentação. Deste modo, dentre o extenso universo de pesquisa acerca do tema em questão, pode-se sugerir os seguintes tópicos para trabalhos futuros:

- Fazer a mesma comparação do trabalho com dosagem de 1:2:3 (cimento; areia; brita) e 1;3:3 (cimento; areia; brita) que é indicada por muitos autores e verificar se a resistência atende os 35 MPa;
- Para a produção utilizar o CP V-ARI, pois apresentam maiores resistências nas primeiras idades.
- Avaliação dos pisos quanto à resistência à abrasão;
- Estudos de viabilidade financeira;
- Análise de planta para produção em escala industrial;
- Incremento da resistência à compressão através da introdução de aditivos.

REFERÊNCIAS

AMORIM, Anderson Anacleto de. **Durabilidade das Estruturas de Concreto Armado Aparentes**. 2010. 72 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

ABNT. NBR 6502: **Rochas e solos - Terminologia**. Rio de Janeiro, 1995. 18 p.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. BT 106: GUIA BÁSICO DE UTILIZAÇÃO DO CIMENTO PORTLAND. 7 ed. São Paulo: Abcp, 2002

ALBUQUERQUE, Alexandre Serpa. Agregados. Cap. 4. In: BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de construção**. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 1994, p.63-120. BNT NBR 7211. **Agregados para concreto** – Especificações. Rio de Janeiro, 15 p, 2009.

ALMEIDA, S. L. M. de; LUZ, A. B. da. **Manual de Agregados para Construção Civil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **A versatilidade do cimento brasileiro**. Disponível em: http://www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobre-cimento/tipos/a-versatilidade-do-cimento-brasileiro#.U8XSb_ldVHO. Acesso em: 15 de fev. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11768**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos, Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15900-1**. Água para amassamento do concreto Parte 1 – Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7211**. Agregados para concreto – Especificações. Rio de Janeiro, 15 p, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9780**: peças de concreto para pavimentação determinação da resistência a compressão – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9781**: peças de concreto para pavimentação – Especificação é métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 45**. Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 8 p, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 52**. Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 6 p, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 53**. Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 8 p, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 248**. Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 6 p, 2003.

BATTAGIN, Arnaldo Forti. **Uma breve história do cimento Portland**. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/cms/basico-sobre-cimento/historia/uma-breve-historia-do-cimento-portland/>>. Acesso em: 07 dez. 2017.

BERNUCCI, Liedi Bariani et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 3. ed. Rio de Janeiro: Petrobras, 2006. 504 p. v. 1.

BATEZINI, R. **Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves**. Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo, 2013.

BAUER, F.L.A. **Materiais de construção**. Editora Livros Técnicos e Científicos, 5ª Edição, Rio de Janeiro, 2000.

BIANCHI, F. R.; BRITO, I. R. T.; CASTRO, V. A. B. **Estudo comparativo entre pavimento rígido e flexível**. Disponível em: <http://www.ibracon.org.br/eventos/50cbc/pav_apresentacoes/ISIS_RAQUEL.pdf> Acesso em: 18 fev. 2018.

CAVALCANTI, D. J. H. **Contribuição ao Estudo de Propriedades do Concreto Auto-Adensável Visando Sua Aplicação em Elementos Estruturais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.

COMO Construir - Selagem asfáltica de fissuras de pavimentos. **Téchne**, [S.l.], v. 110, p. 01-04, maio. 2006. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/110/artigo286007-1.aspx>>. Acesso em: 24 mar. 2018

COSTA, Felipe Murilo Silva da. **Estudo da viabilidade da utilização de cinza de lodo de esgoto como adição em argamassa de cimento portland**. 2014. Dissertação (Mestrado em MECÂNICA DAS ESTRUTURAS, ESTRUTURAS DE CONCRETO E ALVENARIA E MATERIAIS E PROCESSOS CONSTRUTIVOS) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

CONVERTINO, Beatriz. Fotos de Páscoa na Itália: Breve viagem pela história, gastronomia e tradições pascais italianas. Disponível em: <<https://viagemeturismo.abril.com.br/materias/fotos-de-pascoa-na-italia/>>. Acesso em: 05 abr. 2018.

CRUZ, Luiz M. **Pavimento intertravado de concreto: estudo dos elementos e métodos de dimensionamento**. 2003, 281 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Ciências em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de pavimentação**. Publicação IPR-719. 3. ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2006a. 274. p.

EQUIPE DE OBRA. Disponível em: <<http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/40/pavimento-intertravado-236319-1.aspx>>. Acessado em: 17 fev. 2018

FIORITI, C. F. **Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneu com material alternativo**. 2007. 202 p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

FRANCISCO, Ana Paula Santos. **Comportamento Estrutural de Pavimentos Rodoviários Flexíveis**. 2012. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia da Construção, Escola Superior de Tecnologia e de Gestão, Bragança, 2012.

HALLACK, A. (1998). **Dimensionamento de Pavimentos com Revestimento de Peças Pré-Moldadas de Concreto para Áreas Portuárias e Industriais**. Sc, USP – Escola Politécnica, São Paulo-SP.

Interlocking Concrete Pavement Institute (ICPI). **Olympic Village Vancouver BC** <<https://www.icpi.org/>>. Acessado em: 17 fev. 2018.

MAPA DA OBRA. Disponível em: <<http://www.mapadaobra.com.br/gestao/piso-intertravado-solucao-segura-economica-e-duravel/>>. Acessado em: 01 abr. 2018

MARCHIONI, Mariana, SILVA, C.O., **Pavimento Intertravado Permeável - Melhores Práticas** São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2011.

MARQUES, Geraldo Luciano de Oliveira. **Notas de aula da disciplina de pavimentação**. Disponível em: < <http://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2012/03/Notas-de-Aula-Prof.-Geraldo.pdf> > Acesso em: 18 fev. 2018.

MARTIN, Juan Fernando Matias. Aditivos para Concreto. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: Editora Ibracon, 2005. V1. Cap. 13, p. 381-406.

MARTINS, Ronaldo Miotto. **Análise da capacidade de infiltração do pavimento intertravado de concreto**. 2014. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014.

MASCARÓ, Juan Luis, **Loteamentos Urbanos**, Porto Alegre- RS, 2003, p.89.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto Microestrutura, Propriedade e Materiais** – 3ª edição. Português, p. 674, 2008.

PEREIRA, P., & MIRANDA, V. (1999). **"Gestão da Conservação dos Pavimentos Rodoviários"**. Universidade do Minho. Braga.

PINTO, C. S. (2000) – **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas**, 247 p ágs,

Oficina de textos, São Paulo

PORTLAND, Associação Brasileira de Cimento. **Manual de Pavimento Intertravado: Passeio Público**. Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, São Paulo, 2010. 36p

SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de técnicas de pavimentação volume 2** 1. ed. São Paulo: PINI, 2001.

SINAPI – Índices da Construção Civil. Disponível em: <http://www.caiza.gov.br/Downloads/sinapi-composicoes-aferidas-lote3-saneamento-infraestrutura-urbana/SINAPI_CT_LOTE3_INTERTRAVADO_v004.pdf>. Acesso em 06 dez. 2017.

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D. C. DAL. **Concreto autoadensável**. São Paulo, 2008.

T & A, Blocos e Pisos. **Manual técnico de piso intertravado de concreto**. T & A Blocos e Pisos. Fortaleza: T & A Blocos e Pisos, 2004. 46 p