



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CAMPUS CARAÚBAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ADNA LÚCIA RODRIGUES DE MENEZES

**ADIÇÃO DO PÓ DE PEDRA NA PRODUÇÃO DE BLOCO INTERTRAVADO EM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO (AREIA NATURAL):
AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO**

CARAÚBAS - RN
2016

ADNA LÚCIA RODRIGUES DE MENEZES

**ADIÇÃO DO PÓ DE PEDRA NA PRODUÇÃO DE BLOCO INTERTRAVADO EM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO (AREIA NATURAL):
AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), como exigência final para obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientador(a): Dra. Erica Natasche de Medeiros Gurgel Pinto - (UFERSA)

CARAÚBAS - RN
2016

© 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 tomar-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.

M541a Menezes, Adna Lúcia Rodrigues de .
ADIÇÃO DO PÓ DE PEDRA NA PRODUÇÃO DE BLOCO
INTERTRAVADO EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO
MIÚDO (AREIA NATURAL): AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO / Adna Lúcia Rodrigues de Menezes. -
2016.
67 f. : il.

Orientadora: Erica Natasche de Medeiros Gurgel Pinto.
Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-
árido, Curso de Engenharia Civil, 2016.

1. Pavimento. 2. Resíduo. 3. Propriedade mecânica.. I. Pinto, Erica
Natasche de Medeiros Gurgel , orient. II. Título.

ADNA LÚCIA RODRIGUES DE MENEZES

**ADIÇÃO DO PÓ DE PEDRA NA PRODUÇÃO DE BLOCO INTERTRAVADO EM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO (AREIA NATURAL):
AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO**

Monografia apresentada à Universidade Federal
Rural do Semi-Árido (UFERSA), como exigência
final para obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientador(a): Dra. Erica Natasche de Medeiros
Gurgel Pinto - (UFERSA)

APROVADO EM 24 / 05 / 16

BANCA EXAMINADORA


Profª. Drª. Erica Natasche de Medeiros Gurgel Pinto - UFERSA
Orientadora - Presidente


Prof. Dr. Kleber Cavalcanti Cabral
Primeiro Membro


Profª. Ma. Cibele Gouveia Costa Chianca
Segundo Membro

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por seu amor sublime, me proporcionando ao longo desta caminhada forças, coragem, paciência, saúde, fé e sabedoria para vencer os obstáculos, e principalmente por me possibilitar todas estas oportunidades de chegar até aqui. Cheguei passo a passo com ele!

Aos meus pais Alber Menezes e Ana Lúcia, que desde os primeiros passos dispuseram total dedicação por seus filhos. Pelos sacrifícios e renúncias em favor de nos oferecer o melhor de suas possibilidades. Pelo amor, carinho, compreensão e segurança que me transmitiram para alcançar esta realização acadêmica.

Ao meu irmão Adson Bruno, que em todo tempo esteve ao meu lado, me dando suporte e palavras de incentivo nos difíceis momentos, fazendo-se presente como um irmão.

Ao meu namorado Fábio Maia pelo o amor, carinho, atenção e paciência durante a elaboração deste trabalho.

Aos meus companheiros do trabalho, Narawilka, Carla Mabel, Mara Monaliza e Ilg Dantas pelo o companheirismo e auxílio durante a execução deste trabalho.

As minhas companheiras de turma e estudo, Narawilka Cardoso, Aparecida Oliveira e Carla Mabel por toda a amizade, coleguismo, compreensão, paciência, aprendizado e conhecimento compartilhado durante todo este curso.

Aos demais amigos e colegas de sala, aos quais desde o início dividi diversos momentos, e que de alguma forma acrescentaram na minha caminhada.

As minhas companheiras de moradia, pelo coleguismo durante esta jornada e amizade adquirida. Muitos foram os aprendizados e instantes alegres, tristes, desesperadores e difíceis que compartilhamos.

A minha Orientadora professora Dra. Erica Natasche de Medeiros Gurgel Pinto, pelo ensinamento e paciência comigo no decorrer da construção deste trabalho.

Aos professores Kleber Cabral, Luis Henrique, Cibele Gouveia e Erica Natasche pela a amizade, conhecimento e ensinamento repassado durante o curso.

A todos os meus professores, que sem dúvidas contribuíram me acrescentando seus conhecimentos, durante todo o curso.

Ao IFRN, pela disponibilidade do Laboratório de Materiais de Construção para realização de alguns ensaios do trabalho.

A Deus e aos meus pais, Alber Menezes e Ana
Lúcia que sempre me apoiaram e incentivaram
em todos os momentos da minha vida.

DEDICO

“Não fui eu que lhe ordenei? Esforçar-te e tem bom ânimo; não pases, nem te espantes, porque o Senhor, teu Deus é contigo, por onde quer que andares”.

(Josué 1:9)

RESUMO

Pavimento é designado como uma estrutura de múltiplas camadas com a finalidade de transmitir esforços oriundos do tráfego ao terreno de fundação (subleito). Entre os materiais utilizados para formação dessas camadas estão os materiais rochosos, como pedras britadas ou calçamento, o concreto de cimento Portland e o concreto asfáltico. O aparelhamento dessas pedras e a necessidade de conforto de rolamento impulsionaram ao longo do tempo, o desenvolvimento das peças de concreto pré-fabricadas, surgindo o pavimento intertravado, que é um pavimento composto por blocos pré-moldados de concreto. Estes blocos podem ser fabricados completamente de concreto de cimento ou parcialmente, pois o concreto possui a capacidade de adaptabilidade de incorporação de resíduos em sua composição, chamados de agregados artificiais, que substituem parcialmente o agregado natural. Dentre os agregados artificiais usualmente adicionados na composição de fabricação de blocos de concreto está o pó de pedra. Em contrapartida a essa versatilidade de aplicação de resíduos no concreto, a areia comumente utilizada como agregado miúdo natural na produção deste concreto gera grandes impactos ao meio ambiente. Na busca por um mundo cada vez mais sustentável, é de relevância adotar métodos que reduzam o efeito danoso ocasionado ao meio ambiente, gerados pelas práticas da construção civil, e o reaproveitamento desses resíduos é uma boa alternativa, pois além de dar um uso para esse rejeito, diminui a exploração dos recursos naturais. Pensando nisso, este trabalho tem como objetivo adicionar o pó de pedra, como agregado artificial, na composição de fabricação de bloco intertravado, a fim de substituir parcialmente o agregado natural, a areia. Para isso é será avaliado o comportamento da resistência à compressão com essa adição do pó de pedra no concreto, em 4 traços com os diferentes acréscimos de pó de pedra (0%, 15%, 25% e 50%) de acordo com a especificação e métodos de ensaios da NBR 9781 (2013), que trata de peças de concreto para pavimentação. A partir dos ensaios, verifica-se que, as dimensões dos blocos (200mm x 10mm x 50mm) estão dentro da tolerância aceitável de ± 3 mm. E que nenhum dos blocos atingiu a resistência estimada aos 28 dias de idade, porém pode-se destacar o bloco de 15% de pó de pedra por apresentar maior valor de resistência à compressão, em relação aos demais estudados. Logo, em comparação ao resíduo que não adicionou pó de pedra, o de 15% pode ser utilizado pois apresentou aumento de resistência.

PALAVRAS-CHAVE: Pavimento. Resíduo. Propriedade mecânica.

ABSTRACT

Paving is designated as a structure of multiple layers with the finality of transmitting efforts coming of the traffic to foundation ground (subgrade). In between the materials used for formation these layers are the rock materials such as crushed stone or paving, the concrete of the cement Portland, and the asphaltic concrete. The rigging of these stones and the necessity of comfort of bearing boosted over time, the development of the parts of prefabricated concrete, coming the interlocked paving, which is a compound paving for precast blocks of concrete. These blocks can be fabricated completely of concrete of cement or partially because the concrete has the capacity of adaptability of incorporation of waste in its composition, called of artificial aggregates, which replace partially the natural aggregate. Among the artificial aggregates usually added on the composition of fabrication of concrete blocks is the stone powder. In contrast to this versatility of application of wastes in the concrete, the sand generally used as thin aggregate in the production of this concrete generates large impacts to environmental. In search for a world each time more sustainable, it is of relevance adopting methods that reduce the hurtful effect caused to environmental, generated by practices of the civil construction, and the reutilization of these residues is a good alternative because beyond of giving a use for this waste, decreases the exploration of the naturals resources. in the search for a world each time more sustainable, it is relevance to adopt methods that reduce the hurtful effect caused to environmental, generated by practices of the civil construction, and the reutilization of these residues is a good alternative, because beyond of giving a use for this residues, decreases the exploration of the naturals resources. Thinking in this, this study aims to add the stone powder, as artificial aggregate, in the composition of the fabrication of interlocked block, to replace partially the natural aggregate, the sand. For this, it will be evaluated the behavior of the compressive strength with this addition of the stone powder in the concrete, in 4 trace with the different additions of stone powder (0%, 15%, 25% e 50%) according to the specification and methods of experiments of the NBR 9781 (2013), which treats of parts of concrete for paving. From of the experiments, verified that, the dimensions of the blocks (200mm x 10mm x 50mm) are within of the acceptable tolerance of ± 3 mm. And that none of the blocks reached the estimated strength to 28 days of age however can highlight the block of 15% of stone powder for presenting bigger value of compressive strength, in relation to other studied. Thus, in comparison to residue that did not added stone powder, the of 15% can be used because it presented increase of strength.

KEYWORDS: Paving. Residue. Mechanical properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Vila Ápia, Roma - Primeiro Pavimento Intertravado.	16
Figura 2: Blocos de argila na cidade de Rio Branco, Acre.....	17
Figura 3: Rua de pavimento com pedras pé-de-moleque localizada na cidade de Paraty/RJ. .	19
Figura 4: Estrutura típica de um pavimento intertravado.	21
Figura 5: Formato das peças de concreto.	22
Figura 6: Cimento Portland composto CPII-Z-32.	33
Figura 7: Areia natural usada para produção dos blocos.....	34
Figura 8: Armazenamento do pó de pedra na Pedreira Potiguar.	35
Figura 9: Conjunto de peneiras usado no ensaio de granulometria.	36
Figura 10: Material retido de todas as peneiras do conjunto: (a) Areia e (b) Pó de pedra.	37
Figura 11: Sedimentação dos agregados no frasco Chapman.	38
Figura 12: Recipiente preenchido com o agregado.	40
Figura 13: Aparelho usado na determinação da umidade dos agregados.....	41
Figura 14: Pó de pedra sendo pesado na balança semi-analítica.	44
Figura 15: Mistura manual dos materiais para formação da massa de concreto.	45
Figura 16: ATLANTICA MAQ Bloqueira.....	46
Figura 17: Blocos intertravados produzidos de (0%, 15%, 25% e 50 % de pó de pedra).....	47
Figura 18: Paquímetro universal Starret 125MEB.	48
Figura 19: Exemplo de peças de concreto do tipo I - locais para medição na análise dimensional.....	48
Figura 20: Medição das dimensões do bloco com o paquímetro.	49
Figura 21: Blocos imersos na água.....	50
Figura 22: Prensa utilizada para o ensaio de resistência.	51
Figura 23: Bloco posto na prensa.	51

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. GERAL	12
1.2. ESPECÍFICOS	12
2. REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1. HISTÓRICO DA PAVIMENTAÇÃO	14
2.2. PAVIMENTO INTERTRAVADO (PI)	20
2.3. BLOCO INTERTRAVADO DE CONCRETO	21
2.4. CONSTITUINTES DO BLOCO INTERTRAVADO DE CONCRETO	22
2.4.1. Concreto.....	23
2.4.1.1. Cimento Portland	24
2.4.1.2. Agregados	25
2.4.1.2.1. Areia	26
2.4.1.2.2. Pó de pedra.....	26
2.4.1.3. Água	28
2.5. PROPRIEDADES	28
2.5.1. Resistência à compressão	28
2.5.2. Permeabilidade.....	29
2.5.3. Absorção de água	30
2.6. INFLUÊNCIA DOS MATERIAIS NAS PROPRIEDADES DO PAVIMENTO DE CONCRETO	30
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
3.1. MATERIAIS	32
3.1.1. Cimento Portland.....	33
3.1.2. Areia natural	34
3.1.3. Pó de pedra	34
3.1.4. Água	35
3.2. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	35
3.2.1. Ensaio de Composição Granulométrica dos agregados miúdos.....	36
3.2.2. Ensaio de Massa Específica Real dos Agregados miúdos	38
3.2.3. Ensaio de Massa Específica Solta dos agregados (Massa unitária).....	39
3.2.4. Ensaio de Umidade dos agregados miúdos.....	41

3.3. PRODUÇÃO DOS BLOCOS INTERTRAVADOS	42
3.3.1. Determinação do traço	42
3.3.2. Determinação das porcentagens de pó de pedra.....	43
3.3.3. Fabricação do Bloco Intertravado.....	44
3.4. CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS	47
3.4.1. Análise dimensional dos blocos.....	47
3.4.2. Ensaio de Resistência à Compressão.....	49
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	53
4.1.1. Ensaio de Composição Granulométrica dos agregados miúdos.....	53
4.1.2. Ensaio de Massa Específica Real dos agregados miúdos	55
4.1.3. Ensaio de Massa Específica Solta dos agregados miúdos (Massa unitária)	56
4.1.4. Ensaio de Umidade dos agregados miúdos.....	56
4.2. CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS	57
4.2.1. Análise Dimensional dos blocos.....	57
4.2.2. Resistência à compressão dos blocos.....	58
5. CONCLUSÃO.....	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

1. INTRODUÇÃO

Pavimento é designado como uma estrutura de múltiplas camadas com a finalidade de transmitir esforços oriundos do tráfego ao terreno de fundação (subleito), além de proporcionar aos usuários boas condições de conforto, servindo de circulação para pessoas ou veículos (SPECHT, 2007). Entre os materiais utilizados para formação dessas camadas estão os materiais rochosos, como pedras britadas ou calçamento, o concreto de cimento Portland e o concreto asfáltico.

O aparelhamento dessas pedras e a necessidade de conforto de rolamento impulsionaram ao longo do tempo, o desenvolvimento das peças de concreto pré-fabricadas, emergindo como uma alternativa prática e versátil a outros tipos de pavimentos, o pavimento intertravado (PORTLAND, 2010).

Segundo Lyra (2007), o pavimento intertravado é composto por blocos pré-moldados de concreto semipermeáveis, pois atuam em conjunto com o sistema de drenagem urbana. Sua estrutura varia de acordo com as cargas que o pavimento irá receber. As peças pré-moldadas são sobrepostas na camada de assentamento, as juntas entre elas são preenchidas por areia que em conjunto com a contenção lateral conclui o processo de intertravação do pavimento. Esse pavimento é muito usado em calçadas, praças, obras viárias, passeios públicos, estradas, entre outros.

O bloco pré-moldado de concreto também conhecido como peça pré-moldada de concreto (PPC) pode ser fabricado completamente de concreto de cimento ou parcialmente uma capa na superfície. A dosagem de concreto define o traço, com a precisão das quantidades de cimento, agregados, água e eventuais aditivos. Para Mendes (2012), essas peças são produzidas industrialmente em máquinas tipo vibro prensa que propiciam uma boa compactação, onde o concreto é lançado e acomodado nos moldes. Em seguida, as peças passam para a câmara de cura. O tempo de cura dura de 7 a 28 dias, dando finalização aos blocos.

Os materiais utilizados para produção do bloco pré-fabricado de concreto para pavimentação conforme a NBR 9781 (1987) é o concreto, que deve ser constituído de cimento Portland, agregados e água, podendo ser estes agregados naturais ou artificiais, desde que possa substituir parcialmente ou totalmente o agregado natural. Além disso, aditivos podem

ser empregados para se obter melhorias desejáveis em propriedades do concreto, inclusive os pigmentos para a coloração das peças.

O concreto se destaca por possuir capacidade de adaptabilidade de incorporação de uma série de resíduos em sua composição, chamados de agregados artificiais, que substituem parcialmente o agregado natural (SCHUMACHER, 2007). Dentre os agregados artificiais usualmente adicionados na composição de fabricação de blocos de concreto estão: pó de pedra, argila expandida, gralha de aço, vermiculita, fragmentos de etileno-acetato de vinila (EVA), entre muitos outros.

Em contrapartida a essa versatilidade de aplicação de resíduos no concreto, a areia comumente utilizada como agregado miúdo natural na produção deste concreto gera grandes impactos ao meio ambiente, pois seus processos de extração causam destruição das matas ciliares e danos à biodiversidade, sem contar que sua exploração é longe dos centros urbanos o que encarece mais o preço final deste produto (SCHUMACHER, 2007).

Na busca por um mundo cada vez mais sustentável, é de relevância adotar métodos que reduzam o efeito danoso ocasionado ao meio ambiente, gerados pelas as práticas da construção civil. O reaproveitamento desses resíduos, que na maioria das vezes, não tem um destino apropriado, é uma boa ideia, pois além de dar um uso para esse rejeito, diminui a exploração dos recursos naturais.

1.1. OBJETIVO GERAL

Adicionar o pó de pedra, como agregado artificial, na composição de fabricação de bloco intertravado, a fim de substituir parcialmente o agregado natural, a areia.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Caracterizar as matérias primas utilizadas para confecção do bloco;
- b) Caracterizar os corpos de prova;

- c) Avaliar o comportamento da resistência à compressão com a adição do pó de pedra no concreto substituindo parcialmente a areia natural;
- d) Analisar a viabilidade desse bloco intertravado para pavimentação.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo faz um relato histórico da evolução da pavimentação, apresentando informações de como a sociedade dominou as distâncias entre os povoados. Isso proporcionará um melhor entendimento do pavimento intertravado (pavimento formado por peças pré-moldadas de concreto - PPC), assim como as normas referentes a esse pavimento, sua importância, funcionalidade, constituintes, propriedades e a influência de adições de agregados artificiais na composição desses PPC's.

2.1. HISTÓRICO DA PAVIMENTAÇÃO

Será apresentado aqui o desenvolvimento da pavimentação desde os primórdios da civilização ocidental, segundo estudos apresentados por Cruz (2003), Muller (2005), Prego (2001), Knapton (1996) e Shackel (1990).

Acredita-se que os povos Etruscos foram os iniciantes na construção de trilhas para transporte de cargas e pessoas entre as colônias da época, pois foram eles quem dominou a Itália entre 800 e 350 a.C. Eles utilizaram os materiais acessíveis no tempo, usando a pedra de mão e um material fino como revestimento da trilha, ligando grandes distâncias na busca de uma superfície mais plana, para assim assegurar uma resistência e conforto aos usuários.

Depois deles, vieram os Romanos, que obtiveram bastante conhecimento dos Etruscos a respeito da criação de caminhos. Conforme os Romanos conquistavam novas regiões era necessário construir ligações com o Império para manter o deslocamento de tropas militares.

Havia diversas maneiras de se construir estradas pelos os Romanos, isso dependia da finalidade de sua utilização, da topografia, clima e materiais disponíveis naquele local. Para grandes distâncias, o material empregado para revestimento era composto por solos arenosos misturados a pedras naturais do tipo seixos rolados. Já para as ruas mais solicitadas das cidades eram usadas no revestimento pedras talhadas manualmente nas formas retangulares e poligonais. Estes caminhos eram construídos inicialmente com propósitos militares,

posteriormente passou a ser usado com propósitos civis e de cunho econômico, transportando riquezas para Roma.

Os caminhos Romanos construídos na região conhecida hoje como Inglaterra tinham traços específicos, pois com o intuito de se ter uma maior visão contra os ataques dos “Britons”, povos que habitavam a oriunda Bretanha, foi construído aterro sobre o terreno natural. O material aplicado no aterro era extraído de escavações paralelas aos caminhos, o que acabou dando forma a um canal em ambos os lados de todo o prolongamento destes caminhos, prestando-se como uma drenagem natural.

Além desta, outra técnica que colaborou na execução de drenagem e obra de aquedutos da cidade de Roma, descoberta por escavações arqueológicas, foi a estrutura desses caminhos, que eram constituídas de três ou mais camadas de materiais de espessuras e granulometrias distintas.

Isso já mostrava o cuidado deles com a eficiência das camadas desta estrada, pois os Romanos já conheciam a relevância do tipo de areia a ser usado na construção da estrada. Eles misturavam as areias do rio, as extraídas do solo natural e dos canais, em companhia com cal ou calcário, para resultar numa argamassa que em seguida seria adicionado seixo rolado ou pedras de mão distribuídas em cima da estrada.

Um material chamado “puzzolana” naquela época, foi percebido em Puzzeoli, no século 150 a.C. Logo constataram que a puzzolana adquiria uma boa resistência mecânica, junto com a argamassa de cal e areia, isso progrediu-se para o conhecido atualmente como cimento Portland.

Na trajetória da pavimentação feita pelos os Romanos se destaca o emprego de pedras talhadas manualmente para revestimento final da via. Essa técnica dura até hoje, um exemplo é a via Ápia, que interliga Roma ao sul da Itália, como se pode ver na Figura 1. Uma parte dessa via é pavimentada por peças de pedras aparelhadas em formato octogonal.

Figura 1: Vila Ápia, Roma - Primeiro Pavimento Intertravado.



Fonte: Madri (2004).

Os caminhos eram cada vez mais necessários, e no transpassar dos anos, à medida que as cargas foram se alterando, mais era requisitada uma boa camada de revestimento.

A configuração das peças usadas para pavimentação era de acordo com a disponibilidade dos materiais locais associada às práticas de realização das mesmas. Têm sido habitual pelo o homem as peças segmentadas na pavimentação, desde a Idade Média. O avanço destas peças segmentadas é denotado por 4 tipos de materiais, que serão expostos em suma a seguir.

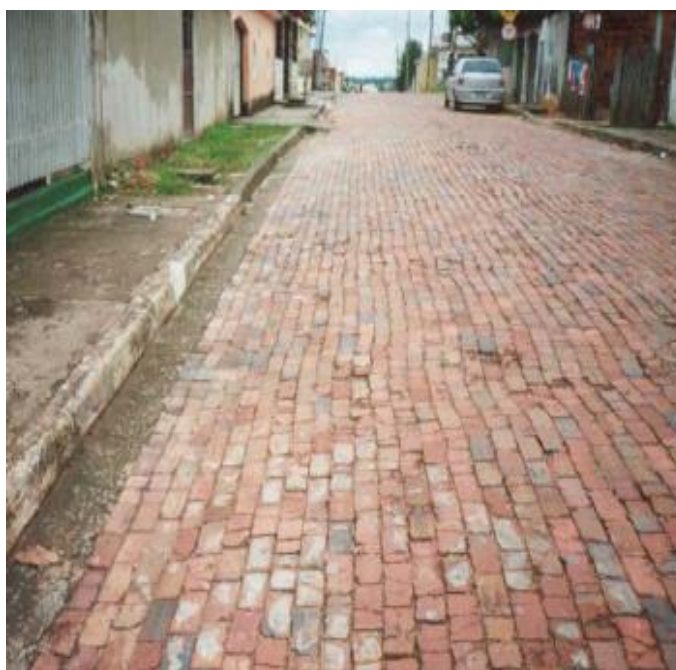
- Blocos de tijolos de argila

O principiante no uso desses tijolos de argila em revestimento junto com o betume em pavimentação foi a Mesopotâmia. O procedimento baseava-se em sobrepor os blocos de argila na camada de betume, isso garantia uma boa aderência dos blocos ao leito do terreno. No entanto, a durabilidade dos blocos era pequena, isto porque o tráfego do período causava um considerável desgaste superficial.

No fim do século XIX, surgiram os primeiros fornos onde se queimavam tijolos em temperaturas elevadas, e em consequência dessa queima, os tijolos adquiriam um acréscimo em sua resistência mecânica. Isso fez com que eles fossem mais usados na América e Europa.

Testes acelerados em pavimentação foram iniciados no ano de 1926, em pavimentos revestidos de tijolos de argila, e muitas cidades começaram a recapear o pavimento com asfalto. Mas, grande parte continuou com a tecnologia dos blocos de argila. Um exemplo é a cidade brasileira, Rio Branco, capital do Acre, que aplica essa técnica desde o ano de 1940, motivada pela inexistência de pedra e abundância do material para fabricação de tijolo cerâmico na região. A Figura 2 mostra o emprego de blocos de argila em um pavimento da cidade de Rio Branco.

Figura 2: Blocos de argila na cidade de Rio Branco, Acre.



Fonte: Nascimento (2005).

O método de assentamento desses blocos é feito sobre um aterro antecipadamente apto em termos geotécnicos, que proporcione segurança quanto à permeabilidade e ao rolamento. Para que os blocos de tijolo de argila possuam resistência à compressão e ao desgaste, a matéria-prima de produção destes blocos deve possuir um alto índice de resistência à compressão, para que mesmo depois de passar pela queimada, os blocos não percam estas propriedades. (FUNTAC, 1999).

- Pedras talhadas e aparelhadas manualmente

Pavimento revestido com pedras talhadas foi o favorito dos Romanos, quando era solicitada uma alta resistência ao desgaste. Todavia, a prática com esse revestimento dependia

fundamentalmente da disponibilidade de materiais, e, além disso, requeria bastante operários e tempo.

Os primeiros modelos de assentamento surgiram no século XVIII, os tipos eram espinha de peixe ou fileiras, as espessuras estavam na faixa de 90 a 180 mm, e sempre tentando manter estreitas as juntas entre as peças, para homogeneizar as dimensões das peças. Para reduzir o barulho do tráfego, foi fixada a selagem das juntas com argamassa formada da mistura de asfalto e areia ou de cimento, já no século XX.

Esse tipo de pavimento é conhecido no Brasil como pavimento de paralelepípedos ou paralelos e pé de moleque. O pavimento de paralelos é bastante utilizado atualmente nos interiores do país e nas grandes cidades em áreas de baias de ônibus. Suas peças têm dimensões similares a 12 cm de largura, 20 cm de comprimento e 20 cm de altura, elas são assentadas sobre uma espessa camada de areia, deixando até 2 cm de junta entre elas. Já as pedras do pavimento pé-de-moleque apresentam dimensões de até 50 cm e seu formato é irregular, elas são assentadas sobre o terreno natural.

As pedras do tipo pé-de-moleque foram trazidas pelos os portugueses desde o ano 1600, sendo mais antigas que as pedras do pavimento paralelo. Eles construíram este tipo de pavimento para auxiliar o transporte do ouro que era explorado nas cidades mineiras de Tiradentes, São João Del Rey e Ouro Preto e trazido até a cidade de Paraty no Rio de Janeiro para embarque nos navios que o levavam a Portugal. A Figura 3 mostra um trecho de pavimento com pedra pé-de-moleque na cidade de Paraty.

Figura 3: Rua de pavimento com pedras pé-de-moleque localizada na cidade de Paraty/RJ.



Fonte: Godinho (2009).

- Blocos de tijolos de madeira

Os revestimentos de peças de madeira começaram a ser utilizados, no início do século XIX, com o intuito de reduzir o ruído gerado pelas rodas de ferro das carruagens. Os blocos de madeira tinham de medida de comprimento de 125 mm a 250 mm e 75 mm e 100 mm de largura. As peças eram cobertas por uma camada de mastique betuminoso, no qual se colocavam grãos pequenos de pedra para garantir a ancoragem à base do pavimento. Porém, em presença de água, o pavimento ficava muito escorregadio, além disto, o surgimento de automóveis munidos de pneus de borracha favoreceu para o abandono de execução desse tipo de pavimento.

- Peças Pré-moldadas de Concreto – PPC

Continuando a evolução da pavimentação, no final do século XIX surgiu as peças pré-moldadas de concreto (PPC). Elas logo ganharam espaço por serem mais vantajosas que as pedras naturais. As PPC não precisavam de reaparelhamento antes do assentamento, pois já ofereciam uma boa uniformidade.

Alemanha e Holanda foram os primeiros a utilizarem as peças pré-moldadas de concreto. No início estas peças imitavam as pedras aparelhadas e tijolos da época, tendo

apenas como benefícios para sua aplicabilidade a homogeneidade dimensional e o custo menor.

Mais, no ano de 1950 houve um avanço nas fôrmas de fabricação dos PPC, quando foi inserido o conceito de intertravamento e um controle na espessura das juntas, concedendo outros modelos de peças com formato dentado. O desenvolvimento da pavimentação intertravada associou a adoção da forma geométrica com o funcionamento do pavimento, de acordo com o tipo de tráfego. O incremento de assentamento mecânico foi a mais recente mudança.

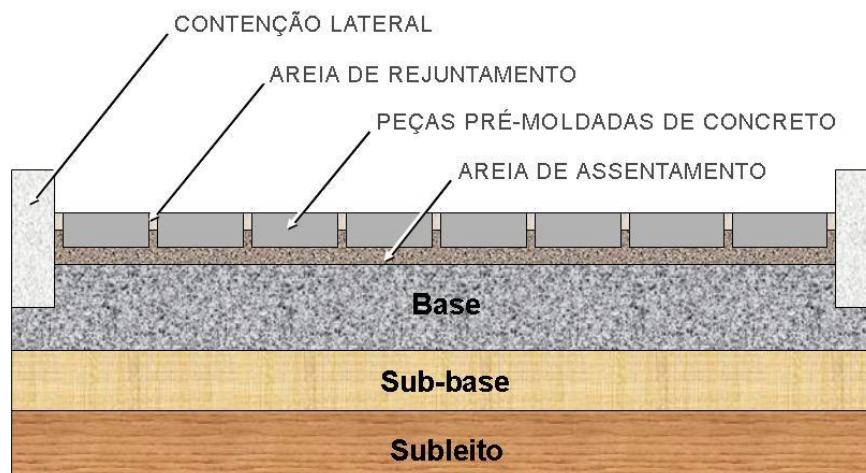
No fim da década de 1970, já se havia propagado em todo o mundo a tecnologia de fabricação de PPC, dispondo de ao menos 200 formas de peças e vários tipos de equipamentos de produção. O progresso dessa técnica de PPC, nas três últimas décadas comprovam sua qualidade, economia e versatilidade. Sem contar na cooperação no tocante ecológico, por aproveitarem as matérias-primas locais e reduzir o consumo de energia para elaboração de tais peças.

2.2. PAVIMENTO INTERTRAVADO (PI)

Pavimento intertravado é um 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 justapostas em uma camada de assentamento e cujas juntas entre as peças são preenchidas por material de rejuntamento e o intertravamento do sistema é proporcionado pela contenção (NBR 9781,2013).

Já Carvalho (2011), define pavimento intertravado como um pavimento semirrígido que tem como revestimento peças pré-moldadas, e sua característica principal o intertravamento. O intertravamento é a capacidade das peças adquirirem, depois de assentadas, resistência a movimentos de deslocamento individual, seja ele horizontal, vertical, de rotação ou de rotação em relação às outras peças vizinhas. Como se pode observar, o pavimento intertravado é de difícil caracterização, pois alguns autores o consideram semirrígido e outros como flexível. A Figura 4 ilustra a estrutura de um pavimento intertravado.

Figura 4: Estrutura típica de um pavimento intertravado.



Fonte: Hallack (1998).

Segundo Senço (2007), o pavimento intertravado pode se dividir em três tipos: alvenaria poliédrica, paralelepípedos e os blocos de concreto pré-moldados. O bloco de concreto é o que tem sido aplicado em maior parte no pavimento, tornando os outros dois tipos como pavimentos antigo, desusados.

Possui vida útil longa, baixa manutenção e não requer mão-de-obra especializada para aplicação. Além destas características, são também qualidades do piso intertravado, melhor conforto térmico, melhor visibilidade noturna, liberação de uso imediato após pronto e desempenho garantido. Este piso é visto como uma opção ecologicamente correta, pois tem alta capacidade de permeabilização, onde os blocos de concreto ao mesmo tempo em que propiciam a drenagem das águas da chuva evitam a impermeabilização do solo, o que é possibilitado pela infiltração de uma parcela das águas incidentes nas juntas entre as peças, reduzindo assim, o impacto ambiental (TÉCNICAS, 2007).

2.3. BLOCO INTERTRAVADO DE CONCRETO

Essa peça de concreto é segunda a NBR 9781 (2013), um componente pré-moldado de concreto, utilizado como material de revestimento em pavimento intertravado.

Os blocos de concreto são peças modulares de concreto com variadas formas (Figura 5), cores e texturas que, postas em uma grande área de superfície pavimentada cria um

belíssimo efeito estético. Ele tem uma ampla aplicação que vai desde obras viárias, passeios, calçadas, praças, ciclovias, estacionamentos, áreas externas de shoppings, pisos industriais, pátios de aeroportos, pátios de terminal de *containers* e outros (TÉCNICAS, 2007).

Figura 5: Formato das peças de concreto.



Fonte: Marchioni (2011).

O bloco intertravado de concreto é uma alternativa praticável para pavimentação de passeios públicos e estradas por ser um sistema de implantação versátil, permitindo-se adequar a trânsito de pedestres e veículos, sejam eles leves ou pesados. Além disso, ele pode ser dimensionado para várias finalidades, uma delas é de absorver uma parcela das águas pluviais, diminuindo a carga do sistema de drenagem urbana e contribuindo para a recarga dos aquíferos subterrâneos (LYRA, 2007).

2.4. CONSTITUINTES DO BLOCO INTERTRAVADO DE CONCRETO

Os blocos intertravados podem ser fabricados inteiramente com concreto como também se tem a opção de ser parcialmente de concreto, como uma espécie de capa na sua

superfície. A base do produto é o cimento, que pode ser colorido ou não. A coloração do concreto utilizada nos pisos se introduz a massa como um agregado fino, ela é feita à base de óxido de ferro. Desta forma, além de suportar os raios ultravioletas, o pigmento resiste à alcalinidade do cimento, é insolúvel em água e não é tóxico (TÉCNICAS, 2007).

Os materiais necessários para produção do bloco pré-fabricado de concreto destinado para pavimentação é o concreto, que deve ser composto de cimento Portland, agregados e água. Os agregados podem ser naturais ou artificiais, desde que seja capaz de substituir o agregado natural. Além do mais, para adquirir melhorias nas propriedades do concreto pode ainda ser empregados aditivos nos mesmos (NBR 9781,2013).

Segundo Cruz (2003), os insumos utilizados na produção de blocos de concreto são basicamente cimento Portland, areia natural e ou artificial, britas de dimensão máxima de 9,5 mm, água, aditivos químicos, pigmentos e adições minerais, estas aplicadas quando são solicitadas características especiais, como, por exemplo, o controle de eflorescência e maior resistência à abrasão das PPC.

Os blocos de concreto devem ser produzidos com cimento Portland e agregados inertes, que podem ser de areia, pedrisco, argila expandida e outros tipos, com dimensões menores que $\frac{1}{4}$ da menor espessura da parede do bloco, e desde que estes agregados estejam incorporados nas especificações de cada qual, podendo ainda ser utilizados aditivos e pigmentos (STEINER, 2011).

2.4.1. Concreto

Conforme Mehta e Monteiro (1994), o concreto é um material que se compõe basicamente de um meio contínuo aglomerante, onde estão mergulhados partículas ou fragmentos de agregados. No concreto de cimento hidráulico, o meio aglomerante é composto pela fusão de água e cimento hidráulico.

Segundo Schumacher (2007), além de cimento, água e agregados, o concreto pode conter aditivos, pigmentos, fibras, agregados especiais e adições minerais, os quais são gradativamente mais empregados no concreto contemporâneo. A proporção entre os constituintes é buscada pela tecnologia do concreto, para responder ao mesmo tempo as

propriedades físicas, mecânicas e de durabilidade do concreto, além das particularidades de trabalhabilidade necessárias para o transporte e lançamento, exigências como essas variáveis para cada caso.

2.4.1.1. Cimento Portland

O cimento Portland é um aglomerante hidráulico produzido pela moagem do clínquer, que consiste essencialmente de silicatos de cálcio hidráulicos, usualmente com uma ou mais formas de sulfato de cálcio como um produto de adição. (SCHUMACHER, 2007).

A NBR 9781 de Pisos de Concreto relata ainda que o cimento Portland usado na elaboração do bloco pré-moldado de concreto pode ser de qualquer tipo e classe, desde que obedeça às ABNT NBR 5732, ABNT NBR 5733, ABNT NBR 5735, ABNT NBR 5736, ABNT NBR 11578 e ABNT NBR 12989 (NBR 9781,2013).

O cimento Portland empregado na fabricação do bloco intertravado de concreto deve atender aos limites mínimos de qualidade das especificações brasileiras das seguintes normas: NBR 5732, NBR 5733, NBR 5735, NBR 11578, NBR 5737. Ressalta-se entre os cimentos usados, um cimento de alta resistência inicial (NBR 5733), isso porque a indústria de pré-fabricados precisa atingir valores de resistências iniciais alto nas pequenas idades, para responder as especificações de desempenho mecânico prévio, e consequentemente reduzir o capital de giro da indústria aumentando o rodízio do seu estoque (CRUZ, 2003).

Além disso, o cimento tipo ARI, acelera o processo de desforma e paletização do material, já que é um cimento de alta resistência inicial, por isso a larga utilização desse tipo de cimento na produção dos blocos de concreto. (PRUDÊNCIO, 2002).

Qualquer tipo de cimento Portland produzido no país pode ser aplicado na fabricação de peças pré-moldadas, tendo somente que considerar certas precauções quando se empregam adições no cimento, pois estas requerem alguns cuidados a mais (RODRIGUES, 1995).

2.4.1.2. Agregados

Agregado é um conjunto de grãos naturais, processados ou manufaturados de atividade química praticamente nula, que apresentam diferentes tamanhos e interligados por um material aglomerante, formam argamassas e concretos. (SCHUMACHER, 2007).

Para Construção Civil, agregados são definidos como os materiais granulares, sem delimitação de volume e forma, com propriedades e dimensões especificadas para uso em obras de engenharia civil, tais como, o cascalho, a pedra britada, e as areias naturais ou obtidas por moagem de rocha, além das argilas e dos substitutivos como resíduos inertes reciclados, escórias de aciaria, produtos industriais, entre outros (DNPM, 2009).

Segundo a NBR 9781 (2013), os agregados podem ser naturais, industriais ou reciclados, desde que obedeçam à ABNT NBR 7211 ou outras Normas Brasileiras pertinentes.

Os agregados são também classificados quanto à sua granulometria. A granulometria diz a composição granulométrica de um agregado, ou seja, a proporção relativa, expressa em porcentagem, dos diversos tamanhos dos grãos que o integram (SILVA, 1991).

Segundo Santos (2011), agregados naturais são aqueles que já estão de forma particulada na natureza (areia, cascalho ou pedregulho) diferente dos artificiais que passam por algum processo industrial para alcançar uma composição particulada, como as pedras britadas, areias artificiais, escórias de alto-forno, argilas expandidas, resíduos da construção civil e mineração, entre outros. Os agregados miúdos são aqueles cujos grãos passam pela peneira ABNT de 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 0,075 mm e agregado graúdo, os grãos passam pela peneira de malha quadrada com abertura nominal de 152 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 4,8 mm.

A granulometria dos agregados interfere diretamente na compacidade e textura final das peças pré-moldadas de concreto, por isso a escolha do tipo de agregado adequado para fabricação do bloco intertravado é essencial (SHACKEL, 1990).

2.4.1.2.1. *Areia*

A areia é um exemplo de agregado natural, pois forma-se da degradação de rochas em decorrência da ação de agentes atmosféricos, e é retirada de depósitos naturais (minas) ou ainda das margens ou fundos de rios (LOPES, 2002).

Segundo Schumacher (2007), os limites das dimensões inferior e superior de cada classe do agregado variam de acordo com a sua origem e com os parâmetros das organizações normativas de cada país. É mais comumente a areia ter as seguintes subdivisões: fina, média, grossa e muito grossa. A extração da areia natural pode suceder-se por meio da dragagem de depósitos de leitos de rios ou por escavações mecânicas de depósitos de solos residuais derivados de alterações físico-químico de rochas. Todavia sua extração prova impactos ambientais expressivos, como o comprometimento do regime de vazão dos cursos de água, perda da biodiversidade, lagos propícios à proliferação do mosquito da dengue, além do assoreamento dos mesmos pela destruição das margens e matas ciliares que retira a cobertura vegetal dessas áreas e deixa o solo estéril.

Isso porque ao retirar a areia de um rio, a calha natural do mesmo é devastada, o que vai acarretar aumento da vazão de água e como consequência aumento do ritmo de erosão das suas margens (MENOSSSI, 2004).

A areia deverá ser de preferência de granulometria média, isenta e limpa de impurezas orgânicas, como os restos de vegetação, entre outros (RODRIGUES, 1995).

Além da questão ambiental, o esgotamento de áreas vizinhas aos centros consumidores tem feito com que essa exploração de areias se afaste cada vez mais dos centros urbanos, o que encare o preço final da areia natural. Então para não comprometer esse recurso natural, que é tão essencial para construção civil, às gerações advindas, se tem buscado progressivamente resíduos que possam o substituir (SCHUMACHER, 2007).

2.4.1.2.2. *Pó de pedra*

São as frações finas resultantes da britagem de rochas, consideradas subprodutos ou resíduos na indústria extrativa da pedra britada. O pó de pedra é obtido pela trituração

mecânica das rochas denominada britagem. A rocha de uma jazida é submetida a sucessivos processos de cominuição, reduzindo-a fragmentos de tamanhos adequados (SCHUMACHER, 2007).

O pó de pedra é um material que exhibe uma quantidade elevada de material pulverulento (até 20%), posicionado abaixo de 4,8 mm. Já o pó de pedra lavado, com redução de finos atingindo a faixados 6% de areia britada (TERRA, 2000).

Britagem é o processo de reduzir o tamanho de um produto para se conseguir um produto com granulometria superior a 10 mm. Esse processo contempla quatro etapas: britagem primária, secundária, terciária e possivelmente quaternária. Os mecanismos envolvidos nesse procedimento são impacto, compressão e cisalhamento (DUTRA, 2008). Já a cominuição tem o objetivo de reduzir um sólido, de tamanho preciso em fragmentos de tamanho menor, por ação mecânica externa e algumas vezes interna (FIGUEIRA, 2004).

Hoje em dia, o pó de pedra é bastante utilizado na fabricação de blocos de concreto, em misturas em usina de asfalto e sub-bases de pavimentação. Esse material é gerado em pedreiras que operam a seco com fragmentação de rocha em etapas consecutivas de britagem (CUCHIERATO; SANT' AGOSTINO, 2000).

O pó de pedra é aplicado na massa que forma o concreto com a finalidade de aumentar a coesão (liga) da mistura fresca e melhorar o acabamento do bloco. É adicionado de pó de pedra, uma quantidade de aproximadamente 10% do agregado total. Para assegurar sua qualidade e que o mesmo está isento de contaminações, é imprescindível se fazer uma análise na qualidade destes agregados (RODRIGUES, 1995).

A utilização do pó de pedra como agregado miúdo no concreto, quer por motivos econômicos, quer por aspectos relacionados à durabilidade, vem sendo analisada e tem gerado grande interesse, não só pelos aspectos ambientais, mas também pelos aspectos econômicos, uma vez que as pedreiras poderão comercializar um produto oriundo de rejeito que não tinha valor algum, que causava transtornos no que diz respeito à estocagem e ao meio ambiente, e que passou a ser um produto com um valor final mais acessível (MENOSSE, 2004).

2.4.1.3. Água

A água a ser usada deve estar livre de impurezas, para que se evite danificação na hidratação do cimento. A água tratada pelos os órgãos públicos ou autarquias que são responsáveis por estes serviços quase sempre serve para ser aplicada no preparo do concreto. (RODRIGUES, 1995).

Segundo a norma da ABNT NBR 9781 (2013), norma que trata de pisos de concreto, a água de amassamento deve atender à ABNT NBR 15900-1:2009. A NBR 15900-1 classifica a água em 8 tipos, e estabelece procedimentos de ensaio para inspeção preliminar da água destinada ao amassamento do concreto descritos na ABNT NBR 15900-3. Dentre estes procedimentos estão: avaliação preliminar, propriedades químicas e tempo de pega e resistência à compressão (NBR 15900-1, 2009).

Outra norma brasileira, a NBR 7215 (1992), fixa ainda que a água empregada para argamassa do concreto deve ser potável e estar na temperatura de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

2.5. PROPRIEDADES

Dentre as propriedades mecânicas encontradas em um bloco de concreto pode-se destacar a resistência à compressão e entre as propriedades físicas está a permeabilidade e absorção de água.

2.5.1. Resistência à compressão

Os agregados estão sujeitos a esforços mecânicos de compressão, tração e flexão, transmitidos pelos carregamentos externos atuantes na estrutura na qual foram utilizados, pois estão constantemente expostos a impacto, esmagamento, desgaste e abrasão (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Resistência é a propriedade especificada, dentre as que compõem o projeto de estruturas de concreto. Ela influencia as demais propriedades do concreto, como módulo de elasticidade, estanqueidade, impermeabilidade e resistência às intempéries, estas, portanto, são deduzidas a partir dos dados de resistência. A resistência à compressão aos 28 dias é considerada como um índice geral da resistência do concreto, ela é determinada por meio de um ensaio padrão de compressão axial (SCHUMACHER, 2007).

A norma NBR 9781, por exemplo, tem a resistência à compressão como único parâmetro de desempenho mecânico das PPC, atribuindo a todas as outras características essa capacidade estrutural de receber esforços de compressão, já que as mesmas estão diretamente relacionadas com a resistência (CRUZ, 2003).

No Brasil, a norma NBR 9781 (Peças de Concreto para Pavimentação - Especificação) estipula que a resistência característica estimada à compressão das peças, calculada de acordo com a NBR 9780 (Peças de Concreto para Pavimentação Determinação da Resistência à Compressão Método de ensaio), deve ser 35 MPa para as solicitações de veículos comerciais de linha ou 50 MPa quando houver tráfego de veículos especiais ou solicitações capazes de produzir acentuados efeitos de abrasão (TÉCNICAS, 2007).

2.5.2. Permeabilidade

A permeabilidade de um pavimento é a capacidade de um meio poroso permitir a passagem de um líquido qualquer. No caso de pavimentos, o meio poroso a ser considerado pode se referir apenas à camada de revestimento ou a uma das camadas constituintes, chamada de camada drenante, ou ao pavimento como um todo, onde toda a estrutura do pavimento tem por objetivo escoar a água da superfície podendo ser chamado de pavimento drenante (MOTTA, 2005).

A permeabilidade de uma peça tem importância não em questões estéticas de um pavimento ao qual ela pertence, mais também com relação à resistência mecânica da peça e à durabilidade do pavimento, pois estas são ligadas à capacidade de absorção de uma peça (GODINHO, 2009).

Não existem considerações específicas quanto à permeabilidade de um bloco intertravado de concreto. (PURIFICAÇÃO, 2009).

2.5.3. Absorção de água

A absorção de água, expressa em porcentagem, representa o incremento de massa de um corpo sólido poroso devido à penetração de água em seus poros permeáveis, em relação à sua massa em estado seco (NBR 9781, 2013).

A amostragem de peças de concreto deve exibir valor de absorção de água médio, menor ou igual a 6 %, não sendo admitido nenhum valor individual maior do que 7 % (NBR 9781, 2013).

2.6. INFLUÊNCIA DOS MATERIAIS NAS PROPRIEDADES DO PAVIMENTO DE CONCRETO

Pelo o que já foi relatado anteriormente nas propriedades e constituintes do bloco de concreto da para se observar como as características próprias de cada material influenciam na argamassa de concreto usada para fabricação do bloco de concreto, que consequentemente interferirá no pavimento intertravado em si.

Com relação à areia, seus tipos e procedências, ou seja, seus processos de formação, naturais ou artificiais, são fundamentais, pois determinam características próprias dos grãos como forma, textura superficial, granulometria e mineralogia, e estas por sua vez, são responsáveis pelo comportamento da argamassa, como a resistência mecânica e maior facilidade de manuseio na preparação da mistura de cimento, água e areia (ZANCHETTA e SOARES, 2000). Segundo Schumacher (2007), areias muito grossa produzem mistura de concreto áspero e não trabalháveis, e areias muito finas aumentam o consumo de água e são antieconômicas.

Com relação aos agregados artificiais, Bosiljkov (2003) analisa a influência dos finos e do pó de pedra calcária nas propriedades do concreto fresco e endurecido. Os resultados indicam que o pó de pedra calcária melhorou a trabalhabilidade da pasta, aumentou a resistência à compressão e obteve um melhor empacotamento das partículas.

Segundo Bonavetti *et al* (1994), resultados de ensaios experimentais demonstraram que a demanda de água cresce com a proporção de pó de pedra, em consequência do aumento da superfície a ser umedecida, acarretando uma redução na trabalhabilidade. Acrescenta-se ainda que a água possa causar danos ao concreto em função de sua simples movimentação ou de mudanças da sua estrutura molecular. O congelamento causa o aumento de volume da água, assim como a secagem causa tensões de tração.

Segundo Schumacher (2007), a proporção entre os constituintes é buscada pela tecnologia do concreto, para responder ao mesmo tempo as propriedades físicas, mecânicas e de durabilidade do concreto, além das particularidades de trabalhabilidade necessárias para o transporte e lançamento, exigências como essas variáveis para cada caso.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada para o presente trabalho foi experimental e comparativa, com o intuito de estudar a influência da adição do pó de pedra (agregado artificial) em diferentes proporções, substituindo parcialmente a areia (agregado natural) na produção do bloco intertravado, através de quatro traços de concreto diferentes.

O referente capítulo descreve todo o procedimento experimental para realização do trabalho, desde a escolha dos materiais, aquisição dos mesmos, produção dos blocos, adoção de métodos de ensaios, equipamentos e parâmetros especificados por norma. Para isto, foi dividido em quatro tópicos:

- Aquisição dos materiais
- Caracterização dos agregados
- Produção dos blocos intertravados
- Caracterização dos blocos

3.1. MATERIAIS

Os materiais utilizados na composição do concreto para produção do bloco pré-moldado bem como sua procedência, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Materiais utilizados para fabricação dos blocos e suas respectivas procedências.

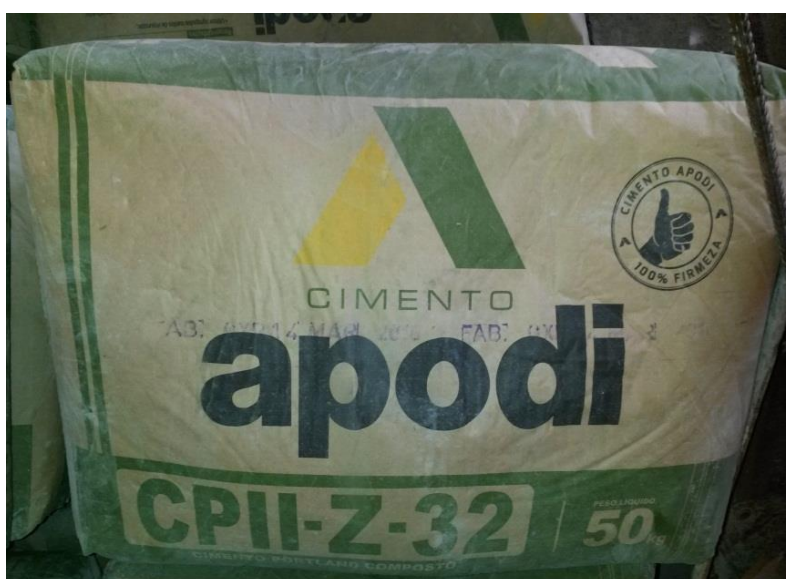
MATERIAIS UTILIZADOS	PROCEDÊNCIA
CIMENTO PORTLAND	CIMENTO APODI
AREIA	AREIA DO RIO UMARI
PÓ DE PEDRA	PEDREIRA POTIGUAR EIRELI
ÁGUA	CAERN

Fonte: Autor (2016).

3.1.1. Cimento Portland

O cimento Portland utilizado na pesquisa para produção do concreto foi o cimento Portland composto CP II Z-32, da marca Apodi, composto com pozolana e apresenta resistência à compressão aos 28 dias ≥ 32 Mpa. Ele se destaca por seu bom desempenho para os pavimentos de concreto, entre outras aplicações. A Figura 6 ilustra o cimento Portland usado.

Figura 6: Cimento Portland composto CPII-Z-32.



Fonte: Autor (2016).

A Tabela a seguir apresenta a composição química e física do cimento Portland composto CPII-Z-32:

Tabela 2: Composição física e química do cimento Portland.

ENSAIOS FÍSICOS									
Ensaio						Método		Resultado médio	
Massa unitária no estado solto				(kg/m³)		NBR 7251		1.197	
Massa específica				(kg/m³)		NBR 6474		2.946	
ANÁLISE QUÍMICA (%)									
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	CaO Livre	Equivalente Alcalino	SO ₃	Perda ao fogo	Resíduo insolúvel
22.94	7.25	3.12	51.9	5.26	1.22	0.78	2.99	5.61	14.80

Fonte: BUEST NETO (2006).

3.1.2. Areia natural

A areia natural usada foi extraída do leito do rio Umari, localizado na mesorregião do Oeste Potiguar no Estado do Rio Grande do Norte de granulometria média. Esta areia foi disponibilizada para a pesquisa pela a prefeitura municipal de Olho D'Água dos Borges. A Figura 7 mostra a areia utilizada.

Figura 7: Areia natural usada para produção dos blocos.



Fonte: Autor (2016).

3.1.3. Pó de pedra

Foi empregado na pesquisa o pó de pedra oriundo da rocha granítica da região circunvizinha à cidade de Caraúbas, no Rio Grande do Norte. Esse pó fino (rejeito), designado de agregado artificial é resultante dos processos de britagem das rochas graníticas, produzido na Pedreira Potiguar Eireli, no município de Caraúbas/RN. A Figura 8 mostra como o pó de pedra armazenado no pátio da pedreira.

Figura 8: Armazenamento do pó de pedra na Pedreira Potiguar.



Fonte: Autor (2016).

3.1.4. Água

A água utilizada na pesquisa foi a água potável da cidade de Olho D'Água dos Borges/RN, provinda da rede pública de abastecimento de água do estado (CAERN).

3.2. CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

Para caracterizar os materiais aplicados na confecção dos blocos de concreto, utilizou-se os seguintes métodos de ensaios:

3.2.1. Ensaio de Composição Granulométrica dos agregados miúdos

A execução deste ensaio de composição granulométrica dos agregados miúdos foi conforme a NBR 7217/1987. Ela descreve a granulometria com sendo um método de análise que classifica as partículas de uma amostragem pelos seus tamanhos e mede as frações correspondentes a cada tamanho, podendo-se através disto encontrar inúmeras outras informações, dentre elas o módulo de finura e a dimensão máxima característica do agregado.

O ensaio foi efetuado no Laboratório de Materiais e Processos Construtivos da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Campus Caraúbas. Para realização do ensaio, primeiro selecionou-se um conjunto de peneira em conformidade com a norma. As peneiras então utilizadas foram as de malha 4,75 mm – 2,36 mm – 1,18 mm – 0,600 – 0,300 mm – 0,150 mm e fundo. O conjunto de peneiras foi encaixado de forma que as aberturas da malha ficassem em ordem crescente da base para cima. A Figura 9 mostra o conjunto de peneiras usado para o ensaio.

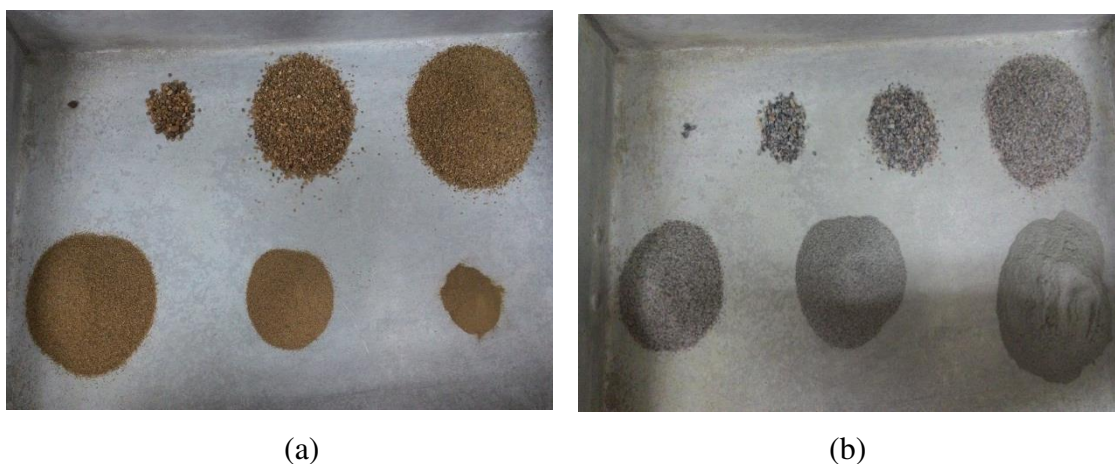
Figura 9: Conjunto de peneiras usado no ensaio de granulometria.



Fonte: Autor (2016).

Segundo a NBR 7217/1987, se usa uma amostra mínima de 500 g para ensaios com agregado de diâmetro máximo menor que 4,8 mm. Desse modo, pesou-se com o auxílio de uma balança analítica uma amostra de 500 g para cada um dos agregados, areia e pó de pedra. Em seguida, adicionou-se aos poucos a amostra do agregado no conjunto de peneiras para prevenir o acúmulo de material e agitou-se manualmente por 2 minutos. Após a agitação, retirou-se o material retido na primeira peneira para determinação de sua massa. Logo após, o conjunto com as peneiras foi mais uma vez agitado por cerca de 1 minuto retirando então a peneira superior para determinação da massa retida na mesma, e esse processo se realizou com as demais peneiras para determinação das massas retidas em cada uma delas. A Figura 10 (a) mostra o material que ficou retido de areia natural em cada uma das peneiras, e a (b) o material retido de pó de pedra.

Figura 10: Material retido de todas as peneiras do conjunto: (a) Areia e (b) Pó de pedra.



Fonte: Autor (2016).

Para determinação da dimensão máxima característica do agregado ($D_{m\acute{a}x}$) efetuou-se a análise das porcentagens retidas acumuladas de cada peneira e a peneira que apresentasse uma porcentagem igual ou imediatamente inferior a 5%, seria então o diâmetro máximo característico do agregado.

Para o módulo de finura (MF), efetuou-se a soma das porcentagens retidas acumuladas nas peneiras utilizadas, dividida por 100. O resultado dessa divisão é o módulo de finura do agregado.

3.2.2. Ensaio de Massa Específica Real dos Agregados miúdos

Massa específica é definida como a relação entre a massa do agregado seco em estufa (100°C a 110°C) até constância de massa e o volume igual do sólido, incluídos os poros impermeáveis (NBR 9776, 1987).

Este ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção do Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN), Campus Mossoró. Para realização deste ensaio inicialmente pesou-se 500 g da amostra do agregado miúdo natural e artificial. Em seguida, adicionou-se ao frasco Chapman 200 cm³ de água destilada até atingir o menisco indicado no frasco e deixou-se o frasco em repouso por alguns minutos para que as águas das faces internas escorressem. Após isso, adicionou-se o agregado miúdo ao frasco, de forma cuidadosa para evitar o acúmulo de bolhas de ar, fazendo movimentos giratórios com o frasco para eliminar as mesmas. Colocado todo o agregado no frasco esperou-se por alguns minutos para sedimentação completa de todos os grãos e partículas finas, como mostra a Figura 11.

Figura 11: Sedimentação dos agregados no frasco Chapman.



Fonte: Autor (2016).

Mediu-se então a leitura do nível atingido pela água no gargalo do frasco em centímetros cúbicos.

Conhecido esse valor, a massa específica pôde ser determinada pela Equação 1:

$$Y = \frac{500}{L-200} \text{ (Equação 1)}$$

Onde:

Y: massa específica do agregado miúdo (g/cm³);

L: leitura do frasco (volume ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo)

3.2.3. Ensaio de Massa Específica Solta dos agregados (Massa unitária)

Massa unitária é a relação entre a massa do agregado lançado no recipiente de acordo com o estabelecido nesta Norma e o volume desse recipiente. O volume de vazios é o espaço existente entre os grãos de uma massa de agregado (NBR NM 45, 2006).

A NBR NM 45 (2006) estabelece três métodos de ensaios diferentes designados por método A, B e C. O método A é utilizado para determinar a massa unitária compactada de agregados com $D_{\text{máx}} \leq 37,5$ mm, o método B é para agregados com $D_{\text{máx}} \geq 37,5$ mm e o método C é para determinação de massa unitária solta de agregado seco ou úmido. Antes de começar o ensaio, escolheu-se então o método a ser utilizado, que foi o método C, já que o agregado estava em seu estado seco e solto, e por ser tratar do método de mais fácil execução, assim indicado pelo o técnico de laboratório.

Este ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção do Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN), Campus Mossoró. De início, determinou-se a massa do recipiente vazio, que possui 151,75 mm de diâmetro e 185,7mm de altura, provido de alças e suficientemente rígido. Logo após, despejou-se o agregado miúdo no recipiente a uma altura de 5 cm da borda superior do recipiente, com o auxílio de uma concha até que transbordasse. Posteriormente nivelou-se a superfície do recipiente com o uso de uma régua metálica para pesar e registrar a massa do recipiente contido com agregado, obtendo assim a massa do conjunto recipiente-agregado, ilustrado na Figura 12.

Figura 12: Recipiente preenchido com o agregado.



Fonte: Autor (2016).

Calculou-se a massa unitária de cada agregado pela Equação 2:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

ρ_{ap} : massa unitária do agregado (Kg/m³);

m_{ar} : massa do recipiente mais agregado (Kg);

m_r : massa do recipiente vazio (Kg);

V : volume do recipiente (m³);

3.2.4. Ensaio de Umidade dos agregados miúdos

O teor de umidade do agregado é descrito como a relação entre a massa total da água envolto na superfície dos grãos dos agregados a qual preenche os poros permeáveis do agregado em relação a sua massa seca, expressa em porcentagem.

Este ensaio foi executado no Laboratório de Materiais de Construção (LMC) do Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN), Campus Mossoró. Para determinação da umidade dos agregados, adotou-se como referência o método especificado pela NBR 9939 (1987) com o aparelho Speedy (Figura 13).

Figura 13: Aparelho usado na determinação da umidade dos agregados.



Fonte: Autor (2016).

Neste método a umidade é estipulada pela pressão do gás, resultante de ação da água contida na amostra sobre o carbureto de cálcio que é colocado no aparelho. Este método é bastante utilizado no campo, pois se obtêm o resultado da amostra na hora.

De início separou-se 12 g da amostra do agregado para ser introduzido na câmara do Speedy. Após a introdução do agregado na câmara, incluiu-se uma ampola de carbureto de cálcio. Sem demora, fechou-se a câmara do Speedy com a tampa e agitou-se repetidas vezes o aparelho até que a ampola quebrasse e se misturasse com a amostra do agregado. Essa mistura é preciso para que haja reação do carbureto com a amostra e a partir disso haja variação da pressão no manômetro, para pode ser determinada a umidade do agregado em análise.

Determinou-se então a umidade do agregado fundamentado na leitura da pressão no manômetro em kg/cm² e da massa de agregado através da Tabela 3 abaixo.

Tabela 3: Tabela para uso do umidímetro "Tipo Speedy".

Leitura do manômetro kg/cm ²	Porcentagem de água contida nas amostras		
	20 g	10 g	5 g
0,1	-	1,2	2,5
0,2	-	2,3	4,8
0,3	2,5	3,5	7
0,4	3,1	4,6	9,3
0,5	3,7	5,8	11,6
0,6	4,2	6,9	13,8
0,7	4,7	8,1	16,1
0,8	5,3	9,3	18,5
0,9	5,9	10,4	20,6
1,0	6,5	11,5	23
1,1	7,1	12,7	25,2
1,2	7,7	13,8	27,4
1,3	8,3	15	29,5
1,4	8,9	16,2	31,8
1,5	9,4	17,3	33
1,6	10	18,4	35,2
1,7	10,6	19,5	37,5
1,8	11,2	20,7	39,7
1,9	11,8	21,8	42
2,0	12,4	23	44,3

Fonte: NBR 9939 (1987).

3.3. PRODUÇÃO DOS BLOCOS INTERTRAVADOS

3.3.1. Determinação do traço

Após a aquisição de todos os materiais necessários para produção dos blocos determinou-se o traço que seria utilizado. Pesquisas sobre traços usados para blocos destinados à pavimentação foram feitas, e dentre os trabalhos vistos, utilizou-se como

referência um dos traços do Dossiê Técnico dos principais pisos utilizados na construção civil, produzido pelo Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas – SBRT (2007). O traço adotado para o trabalho foi o recomendado para blocos destinados a pisos de calçadas, com as seguintes proporções:

- 1 saco de cimento;
- 10 latas de areia média/fina;
- 23 litros de água.

Os outros 2 traços fornecidos pelo o Dossiê Técnico utiliza em sua composição brita do tipo 1, pois são recomendados para blocos destinados a pisos leves, médios e pesados, ou seja, que exigem uma maior resistência do bloco.

O traço escolhido confecciona em média 180 blocos. Como o trabalho não necessitava dessa grande quantidade de blocos, já que o número do corpo de prova para cada traço estabelecido foi de 24 blocos, reduziu-se o traço para produzir somente essa quantia de blocos, ficando então dividido por 5:

- 10 kg de cimento;
- 54 kg de areia;
- 4,6 litros de água.

3.3.2. Determinação das porcentagens de pó de pedra

Após a dosagem do concreto, definiu-se as porcentagens de pó de pedra que seriam adicionadas substituindo a areia. As proporções de pó de pedra em substituição da areia natural utilizadas foram as seguintes:

- 1º Traço: 0% de pó de pedra
- 2º Traço: 15% de pó de pedra
- 3º Traço: 25% de pó de pedra
- 4º Traço: 50% de pó de pedra

Desse modo, recalculou-se o 2º, 3º e 4º traço mais uma vez, incluindo agora o agregado artificial (pó de pedra). A Tabela 4 abaixo apresenta a quantidade de cada material usado para os 4 diferentes traços para confecção dos blocos.

Tabela 4: Quantidade de materiais de cada traço.

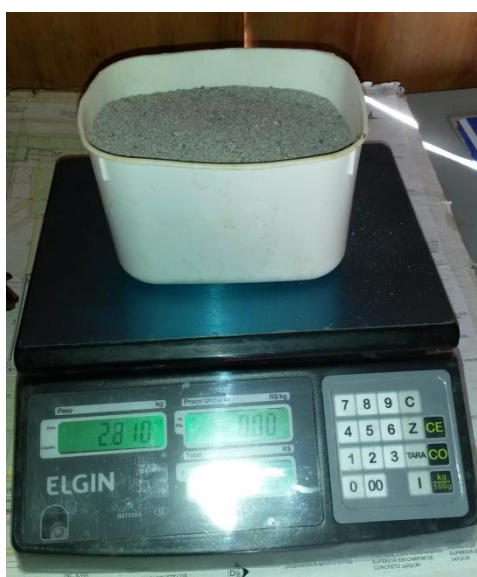
MATERIAIS	1º TRAÇO	2º TRAÇO	3º TRAÇO	4º TRAÇO
Areia	54 Kg	45,9 Kg	40,5 Kg	27 Kg
Pó de pedra	-	8,1 Kg	13,5 Kg	27 Kg
Cimento	10 Kg	10 Kg	10 Kg	10 Kg
Água	4,6 L	4,6 L	4,6 L	4,6 L

Fonte: Autor (2016).

3.3.3. Fabricação do Bloco Intertravado

Com a determinação da porção dos 4 materiais necessários para fabricar o bloco, pesou-se com o auxílio de uma balança semi-analítica a porção de cada material para seu respectivo traço. A Figura 14 ilustra o pó de pedra sendo pesado.

Figura 14: Pó de pedra sendo pesado na balança semi-analítica.



Fonte: Autor (2016).

Em seguida, realizou-se a mistura dos materiais do primeiro traço manualmente. Primeiro espalhou-se a areia formando uma fina camada, sobre essa camada colocou o cimento, com uma enxada mexeu a areia e o cimento até que ficasse uma mistura bem uniforme, espalhou-se essa mistura formando uma camada e sobre esta colocou o pó de pedra para os traços que continha o mesmo, e misturou bem. Após isso se fez um monte com um buraco (coroa) no meio, como mostra a Figura 15, para acrescentar um pouco de água para receber o cimento, que foi adicionado aos poucos, espalhando a mistura com o cimento e a água, e depois o restante da água foi acrescentada, até se verter em uma massa de concreto.

Figura 15: Mistura manual dos materiais para formação da massa de concreto.



Fonte: Autor (2016).

Passou-se um desmoldante nos moldes dos corpos de prova antes de lançar a massa de concreto para maior facilidade de retirá-los depois de moldados. Logo em seguida, colocou-se a massa nos moldes e com um movimento manual se moldou o bloco, produzindo 4 corpos-de-prova de uma vez. A máquina usada para moldagem mecânica dos blocos é denominada ATLANTICA MAQ Bloqueira. A Figura 16 mostra a máquina utilizada para fabricação dos blocos.

Figura 16: ATLANTICA MAQ Bloqueira.



Fonte: Autor (2016).

Depois de moldados, armazenou-se os corpos de prova em local fresco e coberto, para protegê-lo do sol sob uma tábua de madeira, para seu período de cura e posteriormente realização da análise dimensional destes e rompimento aos 28 dias, para avaliação de sua resistência à compressão. Este procedimento foi repetido para os outros 3 traços.

Estes blocos foram fabricados no local onde se está executando a praça de eventos município de Olho D'Água dos Borges, no estado do Rio Grande do Norte, no dia 20 de abril deste ano.

Os blocos fabricados nessa máquina possuem as dimensões (200mm x 100mm x 5mm). Estes blocos tem semelhança aos blocos do tipo I estipulado pela NBR 9781 (2013), que são blocos retangulares com relação comprimento/largura igual a 2 que se arranjam entre se nos 4 lados e que podem ser assentados em fileiras ou em espinha de peixe, por isto a análise destes blocos foi comparativa com os requisitos da norma. A Figura 17 ilustra os blocos intertravados fabricados das 4 porcentagens de pó de pedra aplicadas.

Figura 17: Blocos intertravados produzidos de (0%, 15%, 25% e 50 % de pó de pedra).



Fonte: Autor (2016).

3.4. CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS

3.4.1. Análise dimensional dos blocos

A análise dimensional das peças de concreto para pavimentação reside em determinar as medidas de largura, comprimento e altura da peça, com a precisão do paquímetro.

Este ensaio foi executado no Laboratório de Materiais e Processos Construtivos da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Campus Caraúbas. Para o ensaio se observou as condições das arestas dos blocos, para verificar se estavam retas e uniformes com cuidado para que o plano de onde se realizou o ensaio fosse reto, para evitar possíveis erros. A análise realizou-se em 6 blocos para cada traço, que é a amostra mínima que a norma estabelece para um lote de até 300 m², com o auxílio de um paquímetro universal do modelo Starret 125MEB, com precisão de 0,05 mm (Figura 18).

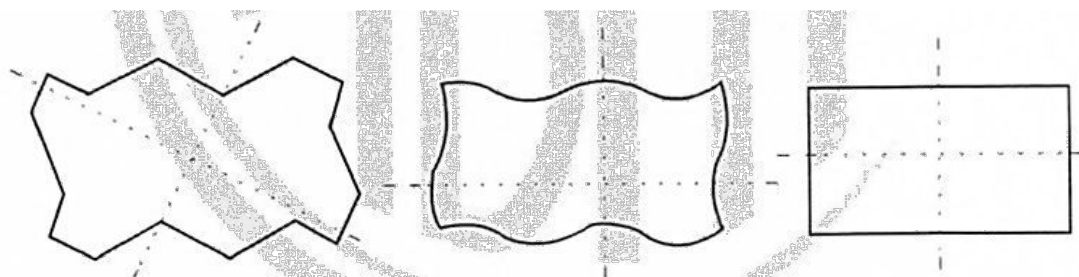
Figura 18: Paquímetro universal Starret 125MEB.



Fonte: Autor (2016).

Realizou-se as medições nos locais aconselhados pela norma, a Figura 19 mostra os locais indicados para as medições, de acordo com o bloco utilizado.

Figura 19: Exemplo de peças de concreto do tipo I - locais para medição na análise dimensional.



Fonte: NBR 9781 (2013).

A ilustração da realização da medição das dimensões do bloco com o auxílio do paquímetro está na Figura 20.

Figura 20: Medição das dimensões do bloco com o paquímetro.



Fonte: Autor (2016).

Os valores de tolerância permitidos pela norma NBR 9781 (2013) estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Tolerâncias dimensionais das peças de concreto.

Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)
± 3	± 3	± 3

Fonte: NBR 9781 (2013).

3.4.2. Ensaio de Resistência à Compressão

A resistência à compressão das peças de concreto para pavimentação é um relevante fator de durabilidade e qualidade de rolamento de pavimentos e calçadas. A prensa utilizada para este ensaio é a mesma utilizada para os ensaios de compressão, com ajuste de placas metálicas auxiliares e velocidade (NBR 9780, 1987).

Como a NBR 9781 (2013) não especifica a idade dos corpos de prova para realização do ensaio, tomou-se como base a idade na qual se estima que a resistência característica à compressão (f_{ck}) seja de ≥ 35 Mpa, que é com 28 dias, sendo o ensaio realizado quando se passou 28 dias de idade dos corpos de prova.

Realizou-se o ensaio de resistência característica à compressão aos 28 dias de idade do bloco para sua caracterização de acordo com o estabelecido pela NBR 9781

(2013). Este ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais e Processos Construtivos da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Campus Caraúbas. Dotado das dimensões comprimento (b), a largura (a) e a altura (h) das peças, passou-se para o passo seguinte que foi a imersão dos corpos de prova dentro de um tanque com água, como mostra a Figura 21, durante 24 horas antes do ensaio.

Figura 21: Blocos imersos na água.



Fonte: Autor (2016).

Passadas as 24 h de imersão dos blocos na água, procederam-se a retirada e a secagem dos blocos com um pano durante um minuto para retirar o excesso de água na superfície. Após isso acoplou-se as placas auxiliares de aço nos pratos da prensa, de maneira que os eixos verticais centrais ficassem alinhados. A Figura 22 mostra a prensa utilizada para ensaio.

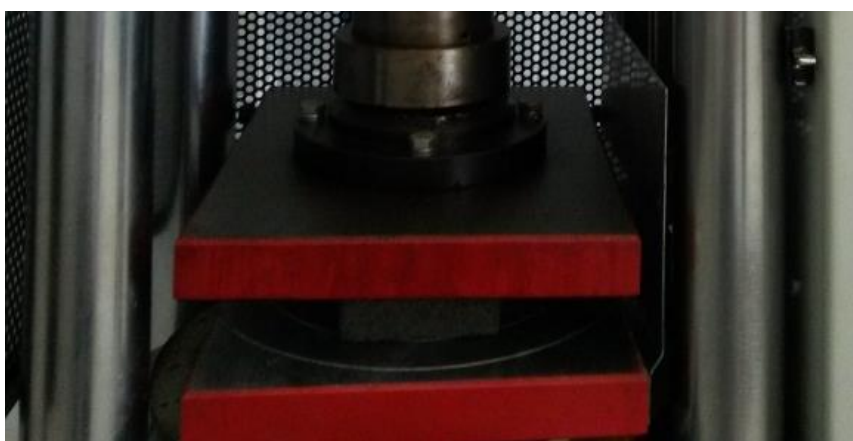
Figura 22: Prensa utilizada para o ensaio de resistência.



Fonte: Autor (2016).

Feito isso os blocos foram postos na prensa, com a superfície de rolamento em contato com a placa superior, de forma que seu eixo vertical também ficasse alinhado ao da prensa, como ilustra a Figura 23.

Figura 23: Bloco posto na prensa.



Fonte: Autor (2016).

Determinou-se então a resistência característica à compressão da peça, expressa em megapascals (Mpa) pela seguinte equação:

$$f_{pk} = \frac{N}{A} \times p \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

f_{pk} : resistência característica à compressão da peça (Mpa);

N : carga de ruptura (N);

A : área de carregamento (mm²);

p : fator multiplicativo

Esse fator p é adotado de acordo com a altura da peça, conforme Tabela 6. Adotou-se então o valor 0,95 para p , que é o valor indicado para peças com espessura de 60 mm, a espessura mais próxima da do bloco em estudo, e obteve-se assim a resistência.

Tabela 6: Fator multiplicativo p .

Espessura nominal da peça (mm)	p
60	0,95
80	1
100	1,05

Fonte: NBR 9781 (2013).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos para a caracterização da areia e do pó de pedra, e para os blocos intertravados confeccionados com adição de pó de pedra em (0%, 15%, 25% e 50%).

4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

São expostos a seguir os resultados de caracterização dos agregados miúdos, areia natural e pó de pedra, usados no trabalho.

4.1.1. Ensaio de Composição Granulométrica dos agregados miúdos

A partir da realização dos ensaios de composição granulométrica, foi possível obter os valores de massas em porcentagem retida e acumulada em cada peneira utilizada. Os resultados para os agregados miúdos areia e o pó de pedra utilizados no trabalho estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Limites granulométricos para os agregados miúdos.

Material	Abertura das peneiras ABNR (mm)	Massa (g)	% Retida	% Retida acumulada
Areia	4,750	0,2483	0,050	0,050
	2,360	8,2714	1,654	1,704
	1,180	108,5313	21,710	23,414
	0,600	209,2440	41,849	65,263
	0,300	114,6381	22,928	88,191
	0,150	46,2397	9,248	97,439
	Fundo	9,9537	1,991	99,43
Pó de pedra	4,750	0,3047	0,061	0,061
	2,360	13,1478	2,630	2,691
	1,180	33,9884	6,798	9,489
	0,600	121,5940	24,320	33,809
	0,300	84,4933	16,899	50,708
	0,150	99,6467	19,929	70,637
	Fundo	140,8512	28,821	99,458

Fonte: Autor (2016).

De posse desses dados, determinou-se o módulo de finura de cada agregado e o diâmetro máximo característico dos agregados. Os diâmetros máximos de cada agregado foram determinados de acordo com o diâmetro da peneira em que a porcentagem retida fosse igual ou imediatamente inferior a 5%. Logo, o diâmetro máximo foi 2,36 mm tanto para a areia como para o pó de pedra, que significa que este é o maior diâmetro que se têm na amostra.

A influência que o diâmetro máximo exerce no concreto é no cimento e água necessários para o traço, pois quanto maior a partícula de agregado, menor será a área superficial por unidade de massa a ser molhada.

Através dos dados coletados na análise dos limites granulométricos para cada agregado e utilizando a equação de determinar o módulo de finura, podemos encontrar um módulo de finura (MF) para a areia de 2,76 e para o pó de pedra de 1,67. Com esses dados foi possível caracterizar os agregados miúdos de acordo com a Tabela 8.

Tabela 8: Caracterização do agregado miúdo.

Muito grossa (pedrisco)	M.F > 3.90
Grossa	3.90 > M.F. > 3.30
Média	3.30 > M.F. > 2.40
Fina	2.40 > M.F.

Fonte: NBR 7211 (2009).

Sendo assim, a areia é classificada como agregado miúdo de granulometria média, pois apresenta um MF dentro da faixa $3,30 > M.F. > 2,40$. Já o pó de pedra é classificado como agregado miúdo de granulometria fina, pois apresenta um MF menor que 2,40. Logo, pode-se dizer que a areia é mais grossa que o pó de pedra, pois o valor de seu MF é maior.

O módulo de finura (MF) de um agregado miúdo influencia na determinação da quantidade de água e de cimento do traço, sendo que quanto menor for o módulo de finura maior será a quantidade de água necessária para o amassamento, o que acarretará no aumento de cimento para manter o fator água/cimento conforme o preestabelecido.

4.1.2. Ensaio de Massa Específica Real dos agregados miúdos

Os resultados da massa específica dos agregados miúdos para areia e pó de pedra foram achados pela seguinte equação:

$$Y = \frac{500}{L-200}$$

Os valores necessários para o cálculo da massa específica foram obtidos conforme o ensaio estabelecido pela norma NBR 9776 (1987). Foram encontrados valores de massa específica para a areia de 2,56 g/cm³ e para o pó de pedra de 2,64 g/cm³, o que significa que o pó de pedra apresenta maior peso para um mesmo volume, já que sua massa específica é maior do que a areia, sem considerar o volume de vazios.

Esses resultados são de suma importância para o cálculo de determinação do traço do concreto a ser utilizado, pois concedem a informação de sua massa real na dosagem do concreto, que influencia na característica final do produto.

4.1.3. Ensaio de Massa Específica Solta dos agregados miúdos (Massa unitária)

Os resultados da massa unitária dos agregados miúdos para areia e pó de pedra foram obtidos pela equação abaixo:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V}$$

Os dados para determinação da massa unitária dos agregados foram obtidos a partir do ensaio estabelecido pela norma NBR NM 45 (2006). Antes de tudo foi determinado o valor do Volume do recipiente, igual a 0,003359 m³. A partir deste valor do volume do recipiente conhecido foram descobertos os valores de massa unitária para a areia de 1440,9 Kg/m³ e para o pó de pedra de 1305,4 Kg/m³, ou seja, o volume de areia será maior do que o pó de pedra, para atingir o mesmo peso, pois é considerado o volume de vazios.

4.1.4. Ensaio de Umidade dos agregados miúdos

A umidade dos agregados da areia e pó de pedra foi determinada com base no método retratado pela NBR 9939 (1987). A determinação da umidade do agregado é feita com a entrada dos dados a partir da leitura da pressão apresentada no manômetro em kg/cm² e da massa de agregado na Tabela 2. Para a massa de 20 g, o manômetro

registrou para ambos os agregados uma pressão de valor 0 kg/cm², o que indica que não há presença de umidade tanto na areia como no pó de pedra.

Como não há umidade nos agregados não é preciso corrigir o volume de areia ou pó de pedra a ser utilizado, pois a possibilidade de inchamento nesse caso será praticamente nenhuma.

4.2. CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS

Os resultados de caracterização dos blocos confeccionados no referente trabalho são exibidos a seguir:

4.2.1. Análise Dimensional dos blocos

Os resultados da análise dimensional dos blocos serão apresentados na Tabela 9:

Tabela 9: Média das dimensões do bloco intertravado de cada traço.

<i>Medida/Bloco</i>	Blocos 0%	Blocos 15%	Blocos 25%	Blocos 50%
Comprimento (cm)	19,97	20,06	20,03	20,12
Largura (cm)	9,94	10,14	9,97	9,97
Altura (cm)	4,98	5,18	4,78	4,92
Relação C/L	2,00905433	1,97830375	2,00902708	2,018054162

Fonte: Autor (2016).

Pode-se perceber, as dimensões dos blocos (20 cm x 10cm x 5cm) estão dentro da tolerância aceitável de ± 3 mm, e satisfazem a relação comprimento/largura com uma relação igual a 2, que são requisitos da NBR 9781 (2013) para peças do Tipo I, as peças usadas como referência comparativa para os blocos confeccionados.

4.2.2. Resistência à compressão dos blocos

O ensaio de resistência característica à compressão para caracterização dos blocos foi realizado de acordo com a NBR 9781 (2013). De posse dos valores de carga apresentados pelos blocos quando sujeitos à compressão obteve-se a média da resistência à compressão característica do bloco, aos 28 dias de idade, para cada um dos 4 traços usados neste trabalho, que estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10: Resistência à compressão característica dos blocos aos 28 dias.

Blocos		Carga de Ruptura (N)	Área de Carregamento (mm ²)	Fator multiplicativo (p)	Resistência à compressão característica (MPa)	Resistência à compressão característica média (MPa)
0%	B1	233770	20000	0,95	11,104075	12,79
	B2	291540	20000	0,95	13,84815	
	B3	267820	20000	0,95	12,72145	
	B4	287575	20000	0,95	13,6598125	
	B5	250795	20000	0,95	11,9127625	
	B6	283610	20000	0,95	13,471475	
15%	B1	311970	20000	0,95	14,818575	14,82
	B2	269680	20000	0,95	12,8098	
	B3	287480	20000	0,95	13,6553	
	B4	378830	20000	0,95	17,994425	
	B5	345400	20000	0,95	16,4065	
	B6	278580	20000	0,95	13,23255	
25%	B1	169240	20000	0,95	8,0389	9,15
	B2	192587	20000	0,95	9,1478825	
	B3	229460	20000	0,95	10,89935	
	B4	174150	20000	0,95	8,272125	
	B5	211023	20000	0,95	10,0235925	
	B6	179060	20000	0,95	8,50535	
50%	B1	212000	20000	0,95	10,07	9,79
	B2	180030	20000	0,95	8,551425	
	B3	206130	20000	0,95	9,791175	
	B4	226370	20000	0,95	10,752575	
	B5	219185	20000	0,95	10,4112875	
	B6	193080	20000	0,95	9,1713	

Fonte: Autor (2016).

Diante os dados obtidos pode-se perceber que os blocos que apresentaram maior resistência à compressão foram os de 15% de pó de pedra, com valores de resistência à

compressão característica de 14,82 MPa, ou seja, nenhum dos blocos atingiu a resistência à compressão estimada aos 28 dias de idade pela a NBR 9781, que é de ≥ 35 MPa para tráfegos de pedestres, veículos leves, e veículos comerciais de linha. Talvez isso se concedeu pelo fato da altura do bloco intertravado produzido ser inferior à altura mínima exigida pela norma de blocos para pavimentação, que é de 60 mm.

Portanto, os resultados que se obteve nos ensaios de resistência à compressão são contraditórios com o que se vê na literatura, que quanto maior a porcentagem de finos maior será a resistência da peça, pois esta adição de finos ao concreto é benéfica por causar diminuição da porosidade e aumento da trabalhabilidade e resistência. Provavelmente os valores da resistência foram muito baixos porque o fator multiplicativo fornecido pela norma é para um bloco de 60 mm e o bloco em estudo possui 50 mm de espessura. Em função disso se precisaria achar um novo fator multiplicativo para a altura da peça utilizada, procurando chega a um valor mais próximo do real.

5. CONCLUSÃO

A partir das análises feitas com os dados obtidos dos ensaios de caracterização dos agregados (areia e pó de pedra) e dos blocos confeccionados a partir da adição desse pó de pedra substituindo parcialmente a areia natural, pode-se verificar que os blocos em estudo não apresentam requisitos de espessura e resistência à compressão exigidos pela norma que trata das especificações para blocos destinado à pavimentação, a NBR 9781:2013.

Os blocos produzidos de (20 cm x 10 cm x 5 cm) satisfizeram ao requisito da NBR 9781 (2013) quanto às tolerâncias aceitáveis de 3 mm para mais ou 3 mm para menos de cada dimensão do bloco e quanto à relação comprimento/largura de todos os blocos.

Com relação à resistência à compressão, nenhum dos blocos atingiu a resistência estimada aos 28 dias de idade, de aproximadamente 35 MPa. Se destacando o bloco de 15% de pó de pedra por apresentar maior valor de resistência à compressão, dentre os blocos estudados, contestando a literatura que diz que quanto maior a presença de finos, maior será a resistência da peça. Entretanto o fator multiplicativo usado para cálculo da resistência foi de peças de 60 mm de altura, o que pode ter influenciado na redução de valor da resistência de todos os traços.

Logo, o pó de pedra pode ser utilizado como um agregado artificial substituindo parcialmente a areia, agregado natural, na a proporção de 15% em massa, para o caso deste trabalho, pois os blocos que foram acrescidos de 15% de pó de pedra foram os únicos que obtiveram um aumento no valor da resistência à compressão comparada à resistência dos blocos do traço 1°, sem adição de pó de pedra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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 7215.** Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro. 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9780:** Peças de concreto para pavimentação determinação da resistência à compressão - Método de ensaio. Rio de Janeiro. 1987.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211:** Agregados para concreto – Especificação, Rio de Janeiro, RJ, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7217:** Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9776:** Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781:** Peças de concreto para pavimentação. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9939:** Agregados - Determinação do teor de umidade total, por secagem, em agregado graúdo, Rio de Janeiro, 1987.

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

BONAVETTI, V.L.; IRASSAR, E.F. The effect of stone dust content in sand. *Cement and Concrete Research*, v. 24, n. 3, p. 580-590, Jan. 1994.

BOSILJKOV, V. B. SCC mixes with poorly graded aggregate and high volume of limestone filler. *Cement and Concrete Research*, v.33, p.1279-1286, 2003.

BUEST NETO, Guilherme Teodoro. **Estudo da substituição de agregados miúdos naturais por agregados miúdos britados em concretos de cimento Portland**. 2006. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

CARVALHO, Denise Barroso Andrade. **Considerações sobre a utilização de Pavimentos Intertravados e Betuminosos em áreas urbanas**. 2011. 110 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

CRUZ, Luiz Otávio Maia. **Pavimento Intertravado de concreto: Estudo dos Elementos e Métodos de Dimensionamento**. 2003. 281 p. Dissertação (Mestrado) – em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

CUCHIERATO, G.; SANT' AGOSTINO, L. M. PÓ DE PEDRA: Produção na região metropolitana de São Paulo (RMSP) e principais características. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL: PRÁTICAS RECOMENDADAS. São Paulo. 2000.

DNPM, Economia mineral do Brasil – 2009, 2009.

DUTRA, R. Beneficiamento de Minerais Industriais. In: 2o Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos Gerais, 2008.

FIGUEIRA, H. V. O. et al. Tratamento de Minerios, Cominuicao. Capitulo 4. CETEM/MCT, Rio de Janeiro, 2004.

FUNTAC (1999). “Relatório Técnico – Setor Cerâmico do Vale do Acre”. Rio Branco – Ac.

GODINHO, Dalter Pacheco. **Pavimento intertravado: uma reflexão sob a ótica da durabilidade e sustentabilidade**. 2009. 158 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

HALLACK, Abdo. **Dimensionamento de Pavimentos com Revestimento de Peças Pré-Moldadas de Concreto para Áreas Portuárias e Industriais**. 1998. 116 f. Tese de Mestrado, Universidade de São Paulo – Escola Politécnica, São Paulo, 1998.

KNAPTON, J., (1996) “*Romans and their Roads – The Original Small Element Pavement Technologists*”, Fifth International Concrete Block Paving Conference, pp. 17-52, Tel-Aviv, Israel, June, 1996.

LOPES, L. S. **Caracterização de Areia Basáltica Proveniente de Resíduos da Britagem do Basalto para Uso em Concretos**. 2002. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Luterana do Brasil, 2002.

Luciano P. Specht, Thiago Rozek, Fábio Hirsch, Reginaldo T. dos Santos. Avaliação da macrotextura de pavimentos através do ensaio de mancha de areia. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, v.1, n.10, p.30-38, Julho, 2007.

LYRA, Mário Limeira de. **Blocos Intertravados de concreto com resíduos de copolímero de etileno-acetato de vinila – EVA - para pavimentação de calçadas e passeios públicos.** 2007. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós- Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2007.

MADRID, G. G., (2004). *“Acredite: rodovias com intertravados já são realidade”*. Revista Prisma. Ed. nº 10.

MARCHIONI, M.; SILVA, C. O. Pavimento Intertravado Permeável – Melhores Práticas. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2011. 24p.

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

MENDES H., CARVALHO K.M.B., BORGES T.E. **TIJOLOS E ALVENARIA: no âmbito da construção civil.** Faculdade de Tecnologia e Ciência – FTC, Itabuna, 2012.

MENOSSEI, Rômulo Tadeu. **Utilização do pó de pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto.** 2004. 110 f. Dissertação (Mestrado) em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2004.

MOTTA, L. M. G (2005). *“Comunicação Pessoal”*. Rio de Janeiro – RJ.

MULLER, R.M. **Avaliação de transmissão de esforços em pavimentos intertravados de blocos de concreto.** 2005. Dissertação (Mestrado) - em Ciências em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

NASCIMENTO, R. R. (2005). *“Utilização de argila calcinada em pavimentação; uma alternativa para o estado do Acre”*. Tese M. Sc. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro – RJ.

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

PREGO, A.S.S. A memória da pavimentação no Brasil. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Pavimentação, 2001.

PRUDÊNCIO JR., Luiz Roberto; OLIVEIRA, Alexandre Linha de; BEDIN, Carlos Augusto. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Florianópolis: ABCP, 2002.

PURIFICAÇÃO, E. **Estudo do uso de agregados reciclados de concreto e substituição do cimento por resíduo de polimento de porcelanato na produção de pisos intertravados de concreto**. 2009. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009.

RODRIGUES, Públio Penna Firme. **Bolem técnico: Fabricação de Blocos Pré-Moldados de Concreto para Pavimentação Práticas Recomendadas**. São Paulo – Sp: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1995.

SANTOS, Robson Arruda dos. **REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DE BRITAGEM DE GRANITO: Uso como agregado artificial na construção civil**. 2011. 56 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011.

SCHUMACHER, Helena Ravache Samy Pereira. **Caracterização Do Concreto Convencional Com Pó De Pedra Em Substituição Parcial A Areia Natural**. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Curso Ciência e Engenharia dos Materiais, Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, Joinville, 2007.

SENÇO, W. **Manual de técnicas de pavimentação**. São Paulo: Pini 2007, 2v.

Shackel, Brian, 1990, “Design and Construction of Interlocking Concrete Block Pavements”, First Edition and Reprinted 1991, Elsevier, New York and London.

SILVA, M. R. Materiais de Construção. São Paulo: Pini, 1991.

STEINER, Luiz Renato. Efeito do rejeito de polimento do porcelanato na fabricação de blocos de concreto de cimento Portland. 2011. 43 f. Monografia (Especialização) - em Coordenação de Projetos e Novas Tecnologias em Edificações, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2011.

TÉCNICAS, Serviço Brasileiro de Respostas. **CANAUD, Cristine**. Dossiê Técnico: Principais pisos utilizados na construção civil. - Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro. Julho, 2007. 41 p.

TERRA, L. E. M. Finos de pedreira para confecção de concreto estrutural – práticas recomendadas. In: **SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL: PRÁTICAS RECOMENDADAS**. São Paulo. 2000.

ZANCHETTA, L. M.; SOARES, L. Uso de areias resultantes da britagem de rocha na elaboração de argamassas. In: **SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL: PRÁTICAS RECOMENDADAS**. São Paulo. 2000.