



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CAMPUS CARAÚBAS
ENGENHARIA CIVIL

NARAWILKA CARDOSO

**INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DO PÓ DE PEDRA NA ABSORÇÃO DE ÁGUA EM
BLOCOS UTILIZADOS EM PISOS INTERTRAVADOS**

CARAÚBAS - RN
2016

NARAWILKA CARDOSO

**INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DO PÓ DE PEDRA NA ABSORÇÃO DE ÁGUA EM
BLOCOS UTILIZADOS EM PISOS INTERTRAVADOS**

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

Orientador: Erica Natasche de Medeiros Gurgel Pinto – UFERSA

CARAÚBAS - RN
2016

NARAWILKA CARDOSO

**INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DO PÓ DE PEDRA NA ABSORÇÃO DE ÁGUA
EM BLOCOS UTILIZADOS EM PISOS INTERTRAVADOS**

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

Orientador: Erica Natasche de Medeiros Gurgel Pinto – UFERSA

APROVADO EM 24/05/2016

BANCA EXAMINADORA


Prof.^a. Dr.^a. Erica Natasche de Medeiros Gurgel Pinto - UFERSA
Orientadora - Presidente


Prof. Dr. Kleber Cavalcanti Cabral - UFERSA
Primeiro Membro


Prof.^a. Ma. Cibele Gouveia Costa Chianca - UFERSA
Segundo Membro

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo presente da vida, pelo amor e misericórdia incondicionais, por querer sempre o melhor para minha vida, e por me proporcionar saúde e sabedoria para a conclusão de mais uma etapa na caminhada. Pois na fraqueza, o Teu poder se aperfeiçoou em mim e me fez mais forte. Te amo Deus!

A meus pais Antonio Cardoso e Antonia Ionaria da Silva, não tenho dúvidas, são os melhores! Obrigado pelos ensinamentos, por me incentivar a buscar sempre o melhor e jamais desistir. Agradeço principalmente pelo amor de cada um, sei que não existe amor maior, obrigado por dedicarem suas vidas a minha.

A toda minha família, especialmente a minha mãe Antonia Ionaria, meus irmãos Tony Cardoso e Walles Cardoso, vocês são minha base, em que sei que posso confiar e contar sempre, sempre estiveram presentes quando precisei e me mostraram a verdadeira função de uma família. Aos meus segundo pais, Miguel e Irene, por estarem sempre presentes na minha vida, até nos momentos mais difíceis, sendo meu suporte. Amo muito cada um, de forma que nem sei explicar!

Ao meu padrasto Ubirandi Medeiros, pelo incentivo ao meu estudo, por estar sempre disponível quando preciso, por me entender até nos momentos mais difíceis, obrigada por tudo.

Ao meu esposo Armando Henrique, pelo amor, companheirismo, paciência e incentivo, obrigado por estar presente em cada momento da minha vida, por compreender os momentos que exigiam mais na faculdade e que eu não pude estar tão presente ao seu lado, por dizer sempre o que precisava ouvir, me aconselhando e se fazendo presente quando mais precisei.

Aos meus amigos, ou melhor, irmãos ufersianos que sempre estiveram comigo, por me proporcionarem verdadeiros momentos de alegria, e por tornar essa caminhada mais alegre, menos complicada. Obrigado pelo apoio de vocês! Estaremos sempre juntos, nas risadas e nos choros, porque com vocês, a felicidade é sempre garantida.

As gatas da civil, Adna Lúcia, Maria Aparecida e Carla Mabel, pela amizade durante todos esses anos, formamos uma família que se apoiando uma na outra, conseguiu chegar até aqui, juntas.

A minha orientadora Erica Gurgel, obrigado pela orientação, pela paciência, por me atender sempre, pelas sugestões e incentivos que fizeram o trabalho dar certo. Obrigado por contribuir grandemente a minha formação e conhecimento, por exercer o seu papel excepcionalmente, muito obrigada.

Aos meus pastores, Elvis e Kilssa, por me ensinarem e lembrarem a todo o momento que, quando temos Deus em nossas vidas, não precisamos temer nada, Ele sempre nos ajudará.

Aos professores Kleber Cabral, Erica Gurgel, Luís Henrique e Cibele Gouveia, por estarem sempre disponíveis quando precisei, por contribuírem grandemente para a minha formação. Formamos um vínculo que vai além da sala e que foi muito especial para mim, contribuindo para minha formação profissional e pessoal.

A Antonio Cardoso (*in memoriam*) meu pai, amigo, herói, e exemplo de vida, que me ensinou o mais importante da vida e tanto sonhou com este momento e infelizmente não pode ver, mas a ti dedico essa vitória, exemplo de pessoa a ser seguido. Meu amor por ti é incondicional.

A Deus, por sua vontade e soberania, porque nada é nosso, tudo pertence ao Senhor, nenhuma folha cai sem sua vontade. Pai, essa vitória é para sua honra e glória. Porque Dele, por Ele e para Ele são todas as coisas.

A Antonia Ionaria da Silva, minha mãe, companheira, amiga, conselheira e minha rainha, que tanto esforçou-se e dedicou-se a formação de minha vida e de meus irmãos, que foi pai e mãe e ensinou que devemos ter sempre esperança para vencer, até nos momentos mais difíceis. Te amo mãe, a senhora é meu exemplo de vida, é em te que me espelho, mulher de garra, em que a alegria esta sempre presente na vida, eu sei que Deus é contigo.

DEDICO

“Pois eu bem sei os planos que estou
projetando para vós, diz o Senhor;
planos de paz, e não de mal, para
vos dar um futuro e uma esperança”
Jeremias 29:11

RESUMO

A impermeabilização dos solos e o uso desenfreado dos recursos naturais são problemas que estão cada vez mais presentes no mundo. Essa impermeabilização se dá principalmente pelo crescimento desenfreado das cidades, impermeabilizando áreas de solos antes permeáveis, que acontece pela falta de planejamento para drenagem de lotes e bairros. Além disso, a medida que uma cidade vai crescendo, aumenta-se o consumo dos recursos da construção civil para atender essa demanda. A utilização de pavimentos permeáveis é uma técnica que está sendo muito utilizada para solucionar um pouco o problema da impermeabilização dos centros urbanos, esses pavimentos são constituídos de blocos de concreto intertravado, que não possuem juntas, para permitir que a água infiltre através deles, e a base desses pavimentos é de material arenoso. Frente a esses problemas, esse trabalho estuda a influência da substituição parcial da areia natural por pó de pedra na composição dos blocos intertravado de concreto quanto a absorção de água dos mesmos. Esses blocos são os mais utilizados nos pavimentos intertravados semipermeáveis. O pó de pedra em estudo é um resíduo do processo de britagem de rochas graníticas e possui granulometria máxima de 4,8mm, esse material encontra-se amontoados nos pátios das pedreiras, pois quase não se é comercializado. Para estudo, foram utilizados blocos com adições de pó de pedra de 0%, 15%, 25% e 50% em substituição á areia natural. A análise foi feita com base nas especificações e métodos de ensaios descritos pela NBR 9781 (2013) que trata de blocos de concreto para pavimentação. A partir dos resultados obtidos através dos ensaios de análise dimensional foi possível determinar que os blocos fabricados pela maquina ATLANTICA MAQ satisfizeram o requisito dimensional. Os ensaios de 21 dias de absorção de água mostraram que nenhum bloco satisfez a exigência da norma quanto a absorção máxima de 7%. Para os ensaios de 28 dias, os blocos com 0% e 15% de substituição de areia por pó de pedra, apresentaram valores de absorção de 6,29% e 5,83% respectivamente, mostrando que com relação à absorção de água, esses tipos de blocos satisfazem a exigência da NBR 9781 (2013). Os blocos com 25% e 50% de pó de pedra tiveram valores superiores a 7% de absorção de água e portanto não satisfizeram a exigência da norma. Com isso, pode-se concluir que a adição de pó de pedra na composição dos blocos intertravado em substituição parcial da areia natural, influencia na absorção de água, fazendo com que esse valor aumente a medida que a quantidade de pó de pedra é aumentada e que dessa forma, os blocos com 15% de substituição de areia natural por pó de pedra é uma alternativa viável para esse material.

Palavras-chave: Areia artificial, impermeabilidade, pavimento.

ABSTRACT

The waterproofing of the soils and the unbridled use of the natural resources are problems that are each time more presents in the world. This waterproofing is given principally by unbridled growth of the cities, areas waterproofing of soils before permeable, which happens by lack of planning for drainage of lots and neighborhoods. Besides that, the measure that a city goes growing increases the consumption of the resources of civil construction to attend this demand. The utilization of permeable floor is a technique that is being very used to solve a little the problem of the waterproofing of the urban centers, these floors are constituted of blocks of concrete interlocked, that do not have together, for allowing that the water infiltrates through of those, and the base of these floors is of sandy material. Front to these problems, this work studies the influence of the partial replacement of the natural sand by the stone powder in the composition of the interlocked blocks of concrete as to the absorption of water of the same. These blocks are the more used in the semipermeable interlocked floors. The stone powder in study is a residue of the process of crushing of granitic rocks and has maxim granulometric of 4,8, this materials finds crowded in the courtyard of the quarries because almost it is not marketed. For study, it were used blocks with additions of stone powder of 0%, 15%, 25% e 50% in replacement to sand natural. The analyze was made with base in the specifications and methods of tests described by NBR 9781 (2013) that treats of blocks of concrete for paving. From the results got through of the tests of dimensional analysis was possible to determinate that the blocks manufactured by machine ATLANTICA MAQ satisfied the dimensional requirement. The tests of 21 days of absorption of water showed that none block satisfies the requirement of the standard as to maxim absorption of 7%. For the tests of 28 days, the blocks with 0% e 15% of replacement of sand by the stone powder, presented values of absorption of 6,29% e 5,83% respectively, showing that with relation to absorption of water, these types of blocks satisfied the requirement of the NBR 9781 (2013). The blocks with 25% e 50% of stone powder had values higher to 7% of absorption of water, and therefore they did not satisfy the requirement in the standard. Thereby, it can conclude that the addition of stone powder in the composition of the interlocked blocks in partial replacement of the natural sand, influences in the absorption of water, doing with which this value increase the measure that the amount of stone powder is increased and that of this form, the blocks with 15% of replacement of natural sand by the stone powder is a viable alternative for this material.

Keywords: Artificial sand, impermeability, floor.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição dos diferentes tipos do cimento Portland.	32
Tabela 2: Materiais utilizados para fabricação dos blocos e suas procedências.	38
Tabela 3: Composição química e física do cimento CP II Z 32	39
Tabela 4: Tabela para uso do umidímetro "Tipo Speedy"	48
Tabela 5: Traços utilizados no trabalho.....	49
Tabela 6: Quantidade de materiais de cada traço.	50
Tabela 7: Tolerâncias dimensionais das peças de concreto.....	55
Tabela 8: Limites granulométricos para os agregados miúdos.....	58
Tabela 9: Caracterização do agregado miúdo.....	59
Tabela 10: Média das dimensões do bloco intertravado.....	61
Tabela 11: Absorção para idade de 21 dias.	62
Tabela 12: Absorção de água dos blocos para a idade de 28 dias.	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Hidrograma de área urbana x área rural.....	19
Figura 2 - Enchente no centro urbano de uma cidade.	20
Figura 3 - Peça de pavimento permeável.	22
Figura 4 - Pavimento permeável composto por blocos intertravados de concreto.....	23
Figura 5 – (a) Pavimento permeável utilizando bloco Intertravado poroso; (b) bloco intertravado poroso.	24
Figura 6 - Amostra do pavimento de Concreto asfáltico poroso.....	24
Figura 7 - Pavimento de concreto asfáltico poroso em um estacionamento.	25
Figura 8 - Pavimento permeável utilizando o bloco vazado de concreto.....	26
Figura 9 - Formato dos blocos com intertravamento horizontal. (a) Classe A; (b) Classe B; (c) Classe C.	27
Figura 10 - Pó de pedra acumulado no pátio de uma pedreira.	35
Figura 11: Cimento Portland composto CPII-Z-32, Apodi.	39
Figura 12: Areia natural (média) usada para produção dos blocos.	40
Figura 13: Pó de pedra da Pedreira Potiguar.	41
Figura 14: Conjunto de peneiras utilizado para o ensaio.	42
Figura 15: Material retido de cada uma das peneiras do conjunto: (a) Areia e (b) Pó de pedra.	43
Figura 16: Sedimentação dos agregados no frasco Chapman.	44
Figura 17: Conjunto recipiente-agregado sendo pesado.....	45
Figura 18: Aparelho Speedy.	47
Figura 19: Pó de pedra sendo pesado na balança semi-analítica.	50
Figura 20: Mistura manual dos materiais para formação da massa de concreto.	51
Figura 21: ATLANTICA MAQ Bloqueira.....	52
Figura 22: Blocos intertravados produzidos de (0%, 15%, 25% e 50 % de pó de pedra).....	53
Figura 23: Paquímetro universal Starret 125MEB.	54
Figura 24- Exemplo de peças de concreto do tipo I - locais para medição na análise dimensional.....	54
Figura 25: Análise dimensional dos blocos com o paquímetro.....	54
Figura 26: Corpos de prova imergidos na água.	56
Figura 27: Pesagem dos corpos de prova com balança de mão.....	56
Figura 28: Blocos na estufa para secagem.....	57

Figura 29: Absorção média dos blocos aos 21 dias.....	63
Figura 30: Absorção média dos blocos aos 28 dias.....	65

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	16
1.1.	OBJETIVO GERAL.....	17
1.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
2.	REVISÃO DE LITERATURA.....	19
2.1.	IMPORTÂNCIA DA PERMEABILIDADE NO SOLO	19
2.2.	TIPOS DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS	21
2.3.	BLOCO DE CONCRETO INTERTRAVADO	26
2.3.1.	Definição.....	26
2.3.2.	Características	28
2.3.3.	Propriedade.....	29
2.3.3.1.	Absorção.....	29
2.3.3.2.	Resistência à compressão	30
2.3.4.	Materiais constituintes	30
2.3.4.1.	Cimento	30
2.3.4.2.	Agregado	32
2.3.4.3.	Areia	33
2.3.4.4.	Pó de pedra	34
2.3.4.5.	Água	36
3.	MATÉRIAS E MÉTODOS	38
3.1.	MATERIAIS	38
3.1.1.	Materiais constituintes	38
3.1.1.1.	Cimento Portland.....	39
3.1.1.2.	Areia natural	40
3.1.1.3.	Pó de pedra	40
3.1.1.4.	Água	41
3.2.	MÉTODOS	41
3.2.1.	Caracterização dos materiais	41
3.2.1.1.	Ensaio de composição granulométrica dos agregados miúdos	42
3.2.1.2.	Ensaio de massa específica real dos agregados miúdos	43
3.2.1.3.	Determinação da massa unitária dos agregados miúdos.	45
3.2.1.4.	Ensaio de umidade dos agregados miúdos	47

3.2.2.	Produção dos blocos de concreto intertravados	48
3.2.2.1.	Determinação do traço	48
3.2.2.2.	Determinação das porcentagens de pó de pedra.....	49
3.2.2.3.	Fabricação do bloco intertravado	50
3.2.3.	Caracterização dos blocos	53
3.2.3.1.	Análise dimensional das peças	53
3.2.3.2.	Absorção de água dos blocos	55
4.	RESULTADOS E DISCURSÕES	58
4.1.	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	58
4.1.1.	Ensaio de composição granulométrica dos agregados miúdos.....	58
4.1.2.	Ensaio de massa específica real dos agregados miúdos	59
4.1.3.	Ensaio de massa específica solta dos agregados (massa unitária)	60
4.1.4.	Ensaio de umidade dos agregados miúdos.....	61
4.2.	CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS	61
4.2.1.	Análise dimensional dos blocos	61
4.2.2.	Absorção de água dos blocos	62
5.	CONCLUSÃO.....	66
6.	REFERÊNCIAS	67

1. INTRODUÇÃO

A impermeabilização dos solos é um problema que afeta grande parte das cidades do Brasil. O amplo crescimento e desenvolvimento das cidades é um dos principais causadores de tal problema, pois impermeabilizam os solos à medida que aparecem mais ruas, casas, estacionamentos, passeios, entre outros. Essa impermeabilização é um dos principais agentes causadores de inundações e enchentes. De acordo com Tucci (2000, *apud* Maus, Righes e Buriol, 2015), a impermeabilização de 7% da área dos lotes já acarreta a duplicação do escoamento superficial e em casos mais extremos, como a impermeabilização de 80% do lote, gera um volume de escoamento superficial oito vezes maior.

Em busca de reduzir os volumes de escoamento nas cidades que, entre outros problemas, causam enchentes, inundações, acidentes e aumento na poluição, utilizam-se os pavimentos permeáveis, que é um dispositivo de infiltração onde o escoamento superficial é desviado através de uma superfície permeável para dentro de um reservatório de pedras, por onde infiltra através do solo, podendo sofrer evaporação ou atingir o lençol freático (URBONAS E STAHR, 1993 *apud* ACIOLI, 2005). Esse tipo de pavimento pode trabalhar tanto diminuindo o escoamento através da infiltração no solo, que dependendo da vazão, pode atuar como reservatório ou permitindo que os volumes infiltrem no solo, como pode também contribuir para diminuir os poluentes no escoamento superficial. Diferente dos sistemas de drenagem tradicionais, como valas de infiltração, trincheiras, entre outros, que atuam sobre os efeitos, os pavimentos permeáveis atuam sobre as causas do aumento de vazão, como salienta Araújo, Tucci e Goldenfum (2010). A técnica de pavimento permeável é ainda, no Brasil, a técnica de controle na fonte de escoamento proposta pela maioria dos planos diretores das cidades (TUCCI, 2007).

Existem vários tipos de pavimentos permeáveis, que atuam como agente de infiltração e possuem uma estética agradável, tanto que antes, esses pavimentos eram utilizados mais como decoração do que como dispositivo de drenagem.

Um desses pavimentos permeáveis é o chamado pavimento intertravado permeável, que é um revestimento composto de peças de concreto para pavimentação, e deve atender a ABNT NBR 9781, principalmente quanto à dimensão das peças, que neste caso, para serem consideradas pavimento intertravado, devem atender a relação comprimento/espessura < 4 . Esse tipo de revestimento é considerado pavimento permeável, pois permite a infiltração de

água nos espaços vazios dos blocos, nos espaços vazios entre os blocos e se for constituído de concreto poroso, a infiltração também pode acontecer através do bloco. É um tipo de pavimento que está sendo muito utilizado, principalmente em praças e estacionamentos, pois além de terem uma estética agradável, impede que essas grandes áreas fiquem impermeável e possa causar algum problema quanto ao escoamento das águas.

Devido aos problemas relacionados ao uso desenfreado de recursos não renováveis, atualmente existem grandes pesquisa para descobrir novas matérias e métodos construtivos, principalmente na área da construção civil, que segundo Marques e Campos (2015), é responsável por consumir cerca de 20% a 50% dos recursos naturais. Um dos recursos mais utilizados na construção civil é a areia natural. O alto consumo desse recurso está levando a uma grande diminuição nas reservas e estas por sua vez, ficando cada vez mais longe das cidades, o que acaba por encarecer o custo da matéria prima e do produto final que é gerado, além de aumentar a degradação no meio ambiente.

A areia artificial, mais conhecida como pó de pedra, é o resíduo da britagem de rochas, que possui diâmetro máximo de 4,8mm e de acordo com a NBR 7225 da ABNT (1993), tem dimensão nominal máxima inferior a 0,075mm. É um material que já vem sendo utilizado há muito tempo em substituição a areia natural, e pode ser utilizados na confecção de concreto estrutural, blocos de concreto, de camadas de sub-base asfáltica e de camadas de concreto compactado a rolo, sendo assim, uma alternativa para diminuir o consumo de areia natural na construção civil.

1.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é substituir uma parte da areia natural usada na fabricação do bloco de concreto intertravado, por areia artificial, mais conhecida como pó de pedra e analisar a sua influência no quesito absorção de água do bloco, além de verificar se é uma alternativa viável ou não para o bloco intertravado, pois a areia artificial é um resíduo encontrado em grandes quantidades nos pátios das pedreiras e que pode ser muito aproveitado na construção civil.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

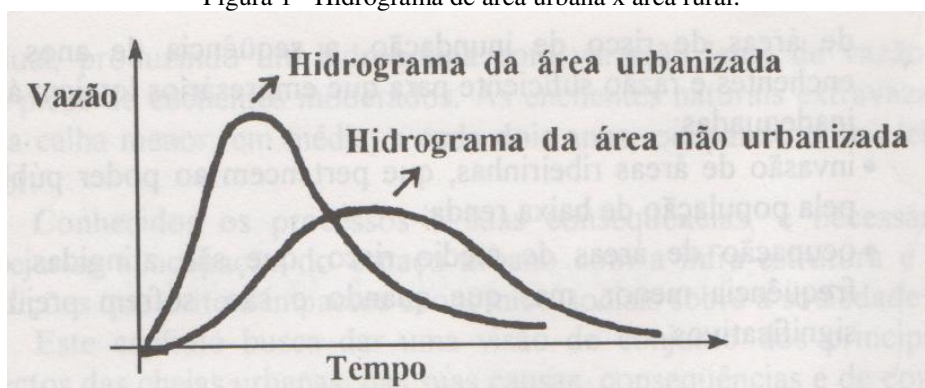
- Caracterizar as matérias primas do bloco;
- Caracterizar os corpos de prova;
- Analisar a influencia da substituição parcial da areia natural por pó de pedra na produção dos blocos intertravado de concreto no quesito absorção do bloco;
- Verificar se é uma alternativa viável ou não para o bloco intertravado.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. IMPORTÂNCIA DA PERMEABILIDADE NO SOLO

O ser humano busca sempre o desenvolvimento, seja na sua vida ou ambiente em que vive, planejado ou não, o que pode trazer várias consequências quando o mesmo não acontece de forma ordenada. A questão é que grande parte das mudanças que ocorrem na nossa vida ou no meio em que vivemos não é planejado, trazendo consigo diversos problemas a serem resolvidos, como bem indaga Pinto (2011) ao dizer que o desenvolvimento dos centros urbanos no Brasil e em grande parte do mundo se deu, na grande maioria das vezes, de maneira desordenada e sem a preocupação com o meio ambiente. Pinto (2011) afirma que a falta de planejamento aliada à urbanização descontrolada, usualmente pressionada por aspectos econômicos como a falta de moradias, o êxodo rural e a industrialização, resultou em altas taxas de impermeabilização do solo e, conseqüentemente na ausência de espaços urbanos, como parques e jardins, que ajudam na infiltração da água no solo e na recarga dos lençóis freáticos. A figura 1 mostra um hidrograma de área urbanizada x área não urbanizada.

Figura 1 - Hidrograma de área urbana x área rural.



Fonte: Tucci (1995).

Os desastres naturais, podemos citar aqui os mais conhecidos que são enchentes e inundações (figura 2), é um desses problemas, estes podem ocorrer naturalmente tendo como variável as condições físicas de cada município, como clima, as distribuições das chuvas, tipo de solos entre outros, ou podem surgir como consequência de práticas do ser humano, na

interferência direta na permeabilidade do solo, tais como as grandes áreas com ruas asfaltadas e superfícies impermeabilizadas com materiais cimentícios.

Figura 2 - Enchente no centro urbano de uma cidade.



Fonte: www.mundoestranho.abril.com.br

Em seu trabalho sobre os impactos causados pela urbanização, Lima -Queiroz *et al* (2003, *apud* Alessi, Kokot e Gomes, 2006) enfatiza que o desenvolvimento acelerado e desordenado das cidades contribui para a evolução dos problemas de inundações.

A ocupação urbana através de áreas impermeáveis, como telhados, passeios, ruas, estacionamentos e outros, alteram as características de volume e qualidade do ciclo hidrológico, trazendo como resultados o aumento das enchentes urbanas e a degradação da qualidade das águas pluviais (ARAÚJO *et al.*, 2000 *apud*, ALESSI; KOKOT; GOMES, 2006). Essa impermeabilização é um dos principais agentes causadores de inundações e enchentes, de acordo Tucci (2000, *apud* Maus, Righes e Buriol, 2015), a impermeabilização de 7% da área dos lotes já acarreta a duplicação do escoamento superficial e em casos mais extremos, como a impermeabilização de 80% do lote, gera um volume de escoamento superficial oito vezes maior.

Não se tem dúvidas de que a impermeabilidade do solo tem contribuído para os eventos de inundações em todo o mundo, se repetindo e se agravando a cada ano, em diferentes lugares, de acordo com Chocat (1997, *apud* Acioli, 2005), credita-se a isto a

responsabilidade por 50% do total de vítimas de catástrofes no mundo entre os anos de 1966 a 1990.

A impermeabilização dos solos é um problema que afeta uma boa parcela das cidades do Brasil. De acordo com Brasil (2014) no Brasil, 2.065 municípios declararam ter sido atingidos por alagamentos nos últimos cinco anos, ou seja, 37,1% do total dos municípios brasileiros. A maior concentração foi nas Regiões Sudeste (45,2%) e Sul (43,5%), e a menor, na Centro-Oeste (19%). Ainda de acordo com o Brasil (2014), em todo o território nacional, 97,4% dos municípios com mais de 500 000 habitantes registraram alagamentos, enquanto, na classe de municípios com até 5 000 habitantes, foram registrados valores de 5,0%, nas Regiões Norte e Centro-Oeste e 11,5% na Região Nordeste, o que comprova mais ainda que esses desastres estão extremamente ligados ao desenvolvimento das cidades, ou seja, à impermeabilização dos solos.

Podemos ver que alguns desastres naturais como enchentes, inundações, deslizamentos, entre outros, pode depender muito da influência do ser humano no meio ambiente, a impermeabilidade de solo, uso e ocupação de áreas de risco como encostas, são algumas dessas interações homem/natureza que podem provocar sérios problemas aos mesmos. Estes problemas podem ser evitados ou ao menos minimizados quando se faz um planejamento junto com o crescimento das cidades, o Brasil (2014) aponta que pelo menos 51,9% (2 892) dos municípios possuíam pelo menos um instrumento de planejamento seja ele Planos de Saneamento Básico, Lei de Uso e Ocupação de Solo, Plano Diretor, entre outros, infelizmente a parcela de municípios que possuem legislação sobre zoneamento ou uso e ocupação do solo é pequena.

2.2. TIPOS DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

Em busca de reduzir os volumes de escoamento nas cidades que, entre outros problemas, causam enchentes, inundações, acidentes e aumento na poluição, existem vários dispositivos que buscam controlar o escoamento na fonte, já que de acordo com Tucci (2007), o princípio de que o afastamento da água da chuva deve se dar o mais rápido possível para a jusante tem sido considerado “errado”. Por isso existe uma grande gama de estudos a cerca de dispositivos que buscam devolver ao solo as condições originais de permeabilidade.

Dentre estes dispositivos que procuram ajudar a infiltração da água no solo estão os pavimentos permeáveis. Estes devolvem ao solo as características de permeabilidade e retenção do escoamento superficial que havia antes da bacia ser urbanizada (MARCHIONI e SILVA, 2010 *apud* COSTA; ALVES; BARBOZA, 2011). É um dispositivo de infiltração onde o escoamento superficial é desviado através de uma superfície permeável para dentro de um reservatório de pedras, por onde infiltra através do solo, podendo sofrer evaporação ou atingir o lençol freático (URBONAS E STAHR, 1993 *apud* ACIOLI, 2005). Estes surgiram como uma alternativa para diminuir os impactos das inundações e enchentes nas áreas urbanas devido a sua estrutura porosa que facilita a infiltração das águas pluviais, dependendo do caso, pode reduzir o escoamento completamente, como podemos ver na figura 3.

Figura 3 - Peça de pavimento permeável.



Fonte: Alessi, Kokot e Gomes (2006)

Esse tipo de pavimento pode trabalhar tanto diminuindo o escoamento através da infiltração no solo, que dependendo da vazão, pode atuar como reservatório ou permitindo que os volumes infiltrem no solo, como pode também contribuir para diminuir os poluentes no escoamento superficial, pois utilizam bloquetes de concreto, concreto poroso ou asfalto. Diferente dos sistemas de drenagem tradicionais, como valas de infiltração, trincheiras, entre outros, que atuam sobre os efeitos, os pavimentos permeáveis atuam sobre as causas do aumento de vazão, como salienta Araújo, Tucci e Goldenfum (2010). É ainda, no Brasil, a técnica de controle na fonte de escoamento proposta pela maioria dos planos diretores das cidades (TUCCI, 2007).

Os principais tipos de pavimento permeáveis são os blocos intertravado de concreto comum, bloco intertravado poroso, concreto asfáltico poroso e blocos vazados de concreto.

Nos bloco intertravado de concreto comum, a água infiltra basicamente pelas juntas, que ao contrario dos revestimentos de pisos comuns, são juntas preenchidas por areia ou pedrisco ao invés de rejunte, que facilitam a percolação da água, a figura 4 mostra um exemplo desse tipo de pavimento.

Figura 4 - Pavimento permeável composto por blocos intertravados de concreto.



Fonte: Marchione (2012)

O Bloco intertravado poroso possui uma estrutura porosa por se dispensar a utilização de areia na composição de sua massa de concreto, sendo utilizada apenas a brita. Nesse tipo de pavimento a água infiltra tanto através das juntas quanto pela própria estrutura do bloco. A figura 5 (a) apresenta um pavimento com este tipo de bloco e a figura 5 (b) apresenta o bloco intertravado com uma estrutura porosa.

Figura 5 – (a) Pavimento permeável utilizando bloco Intertravado poroso; (b) bloco intertravado poroso.



Fonte: Marchione (2012)

O concreto asfáltico poroso é similar ao concreto asfáltico convencional, porém devido à granulometria maior dos seus agregados, como no bloco intertravado poroso, dispensa os finos na sua composição, facilitando assim a infiltração da água neste tipo de pavimento. A figura 6 mostra a simulação da percolação da água nesse tipo de pavimento.

Figura 6 - Amostra do pavimento de Concreto asfáltico poroso.



Fonte: Alessi, Kokot e Gomes (2006)

O Concreto poroso moldado *in loco* é um pavimento rígido de concreto que possui poucos finos em sua composição e com agregados de granulometria maior como brita e até

areia, devido a isso também facilita a percolação da água no pavimento. A figura 7 apresenta um exemplo usual desse tipo de pavimento.

Figura 7 - Pavimento de concreto asfáltico poroso em um estacionamento.



Fonte: Marchione (2012)

Os blocos vazados de concreto são blocos de concreto comum que possuem alguns vazamentos na sua estrutura, esse vazamento é preenchido por areia ou grama e a água infiltra através dessas aberturas. A figura 8 mostra um exemplo desse tipo de pavimento utilizando a grama como preenchimento.

Figura 8 - Pavimento permeável utilizando o bloco vazado de concreto.



Fonte: Costa (2011)

2.3. BLOCO DE CONCRETO INTERTRAVADO

2.3.1. Definição

Os blocos de concreto intertravado, bloco pré-moldado de concreto ou peça pré-moldada de concreto (PPC) são utilizados em pavimentos intertravado permeáveis por permitir a infiltração da água atrás do próprio bloco ou dos espaços entre um bloco e outro.

Estes blocos de concreto são maciços e permitem pavimentar uma superfície, podendo 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).

O intertravamento é a característica principal deste tipo de bloco de concreto, eles têm a capacidade de resistir aos movimentos de deslocamento individual, seja ele vertical, horizontal, de rotação ou de giração em relação a suas peças vizinhas (FIORITI; INO; AKASAKI, 2007).

No final da década de 70 a produção dos blocos de concreto intertravado teve grande alta, tanto dos blocos como dos equipamentos utilizados para sua fabricação. De acordo com Fioriti, Ino e Akasaki (2007), no início da década de 80 a produção anual já ultrapassava 45

milhões de metros quadrados, sendo 66% deste total aplicados em vias de tráfego urbano, no final da década de 1990, essa produção chegou a marca de produção de 100 m² por segundo durante os dias úteis de trabalho.

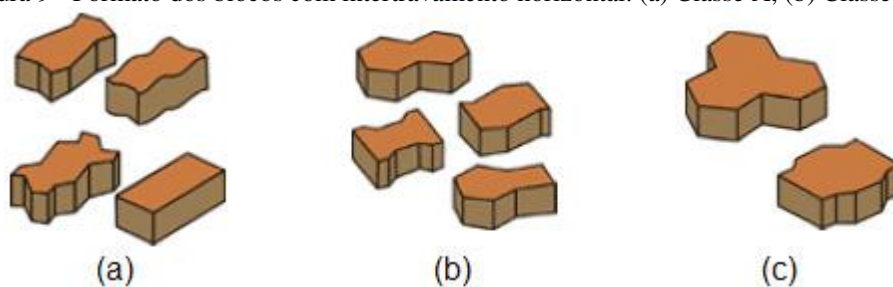
Devido a grande utilização dos pavimentos permeáveis aqui no Brasil, a produção desses blocos de concreto aumenta a cada ano, decorrente principalmente da sua facilidade de execução, manutenção e resistência mecânica. Interpavi (2010 *apud* Santos, 2013) diz que esse pavimento com blocos de concreto intertravado é considerado um pavimento intermediário, entre pavimentação rígida constituída de placa de concreto e a flexível.

Esses blocos de concreto intertravado devem atender a NBR 9781, principalmente quanto à dimensão das peças, que neste caso, para serem consideradas pavimento intertravado, devem atender a relação comprimento/espessura < 4 .

O bloco intertravado de concreto mais utilizado é o de intertravamento horizontal. De acordo com Cruz (2003), o custo na fabricação desse bloco é menor que nos de intertravamento vertical e rotacional e possui um sistema de assentamento simplificado.

Hallack (2001, *apud* Fioriti, 2007) divide os blocos de concreto intertravados com intertravamento horizontal em três classes. Na classe A estão os blocos que se entrelaçam nas quatro faces laterais e possuem relação comprimento/largura igual a dois, podendo ser assentados facilmente com uma mão. Na classe B os blocos possuem dimensões e proporções semelhantes aos da classe A, mas se entrelaçam apenas em duas das faces laterais. Na classe C os blocos possuem peso e dimensões superiores aos blocos das outras classes e não podem ser assentado apenas com uma mão. A figura 9 apresenta os principais blocos de cada classe.

Figura 9 - Formato dos blocos com intertravamento horizontal. (a) Classe A; (b) Classe B; (c) Classe C.



Fonte: Cruz (2003), p.16.

2.3.2. Características

Os blocos de concreto intertravado se destacam por suas vantagens, dentre elas estão a facilidade no assentamento, a liberação da pavimentação para o tráfego rapidamente, a acessibilidade às redes subterrâneas e a praticidade na manutenção (WIEBBELLING, 2015). Os blocos de concreto se forem bem feitos e todas as camadas do pavimento em que o mesmo for inserido forem bem executada, podem durar muito tempo, de acordo com Fioriti (2007), chegando a uma vida útil de 25 anos.

Esses blocos de concreto intertravado se destacam também pela sua eficiência ambiental, pois pode-se usar diversos resíduos em sua composição e além de tudo é semipermeável, contribuindo para a drenagem urbana.

Em seu trabalho Wiebbelling (2015) algumas características importantes sobre esse tipo de bloco de concreto, entre eles:

- Apresentam menor absorção de luz solar, evitando o desconforto da elevação exagerada de temperatura ambiental;
- Podem ter simultaneamente, capacidade estrutural e valor paisagístico;
- Permitem fácil reparação quando ocorre recalque no subleito que comprometa a capacidade estrutural do pavimento;
- Possibilita fácil acesso a serviços subterrâneos e o reparo não deixa marcas visíveis;
- Os blocos podem ser reutilizados;
- Não necessita mão de obra especializada;
- Os materiais chegam até a obra prontos para a aplicação;
- Liberação rápida do tráfego logo, logo após a conclusão.

A característica que mais se destaca nesse tipo de bloco de concreto é a do intertravamento, estes podem possuir intertravamento horizontal, vertical e rotacional ou giratório. Knapton (1996 *apud* Cruz, 2003) descreve intertravamento horizontal como sendo a incapacidade de uma peça de se deslocar horizontalmente em relação as peças vizinhas em qualquer tipo de arranjo ou assentamento. Cruz (2003) afirma que esse tipo de intertravamento está diretamente relacionado com o arranjo de assentamento das peças sobre a camada de areia neste sentido, contribui com a distribuição dos esforços de cisalhamento horizontal sob a atuação do tráfego.

O intertravamento vertical é a incapacidade de cada peça de se mover no sentido vertical em relação as peças vizinhas (KNAPTON, 1996 *apud* CRUZ, 2003), esse intertravamento é conseguido através dos esforços de cisalhamento absorvidos pelo rejuntamento de areia entre as peças. Ainda de acordo com Knapton (1996, *apud* Cruz, 2003) o intertravamento rotacional ou giratório é a incapacidade da peça girar em relação ao seu próprio eixo em qualquer direção e esse feito é conseguido pela espessura das juntas entre as peças e consequente confinamento oferecido pelas peças vizinhas.

2.3.3. Propriedade

2.3.3.1. Absorção

Absorção representa a quantidade de água absorvida pelo material seco com relação à massa do material e é representado em porcentagem. A penetração e movimentação de água no concreto é função da quantidade, forma, distribuição e dimensões dos poros do concreto (MEHTA, 1994).

De acordo com o Dicionário Michaelis (1998), absorção é definido como sendo o ato ou efeito de absorver, de impregnar-se de um líquido, gás etc., por ação capilar, osmótica, química ou solvente.

A norma para peças de concreto para pavimentação NBR 9781 (2013) especifica valores máximos quanto a absorção do bloco. São admitidos valores de absorção menores ou igual a 6% para amostras de peças ou 7% para as peças analisadas individualmente.

Embora a NBR 9781 (2013) especifique valores máximos de absorção admitidos, Fonseca (2006) afirma que quando se utiliza agregados naturais na composição do concreto, a taxa de absorção de água não exerce quase ou nenhum tipo de influencia nas misturas, pois esses agregados apresentam pouca ou nenhuma porosidade (FONSECA, 2006). Como uma das características dos blocos de concreto para pavimentação intertravada é justamente a absorção que o bloco tem para ajudar na infiltração da água no pavimento, entende-se que valores próximos aos estipulados pela norma ainda são aceitos, contribuindo sempre para ajudar nos problemas de inundações dos centros urbanos.

2.3.3.2. Resistência à compressão

A resistência mecânica é considerada como o principal parâmetro, ou, o mais objetivo, isoladamente, para se avaliar a qualidade do concreto na estrutura. Em particular, a resistência a compressão simples, avaliada por rupturas de corpos-de-prova moldados do concreto ao sair da betoneira, os quais, obviamente representam uma resistência potencial a qual o concreto pode atingir na estrutura (VIEIRA FILHO, 2007).

Os fatores que afetam a resistência incluem propriedades e proporções dos materiais que compõem o traço do concreto, grau de adensamento e condições de cura. A relação água/cimento (A/C) é o fator mais importante porque afeta a porosidade tanto da matriz pasta de cimento como da zona de transição entre a matriz e o agregado graúdo, além de controlar o processo de hidratação (CONCRETO, 2006).

Com relação as peças de concreto intertravadas, a NBR 9781/2013 estabelece que a resistência característica à compressão deve ser maior ou igual a 35 MPa, para as solicitações de veículos leves e maior ou igual a 50 MPa, quando houver desgaste por atrito e tráfego de veículos pesados.

2.3.4. Materiais constituintes

2.3.4.1. Cimento

Em termos gerais, cimento é todo material com propriedades adesivas e coesivas, capaz de ligar fragmentos de minerais entre si de modo a formar um todo compacto (NEVILLE, 1982 *apud* FONSECA, 2010).

Neville (1982 *apud* Fonseca, 2010) afirma que o nome cimento Portland é usado até hoje para designar um cimento obtido pela mistura apropriada de materiais calcários e argilosos, ou outros materiais contendo sílica, alumina e óxidos de ferro, aquecendo tudo a uma temperatura necessária para a clinquerização e moendo-se o clínquer resultante.

O cimento portland é um material pulverulento constituído de silicatos e aluminatos de cálcio, praticamente sem cal livre. Estes silicatos e aluminatos complexos, ao serem misturados com água, hidratam-se produzindo o endurecimento da massa, com elevada resistência mecânica e resultam da moagem de um produto denominado clínquer (LODI, 2006).

Ainda de acordo com a ABNT NBR 12655, o cimento Portland é:

Aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland, ao qual se adiciona, durante essa operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a essa mistura materiais pozzolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonatados, nos teores indicados nas normas específicas (2006, p. 4).

O uso de um tipo de cimento é bem antigo, os egípcios usavam gesso impuro calcinado nas suas construções. Os gregos e romanos usavam calcário calcinado e com o tempo aprenderam a fazer misturas com cal e água, areia e pedaços de pedra ou tijolos, daí se foi feito o primeiro concreto da história (NEVILLE, 1997 *apud* LODI, 2006).

De acordo com Fonseca (2010), somente no ano de 1824, o construtor Joseph Aspdin realizou um experimento onde foram queimadas pedras calcárias e argila juntas, transformando-se em um pó fino, Aspdin então percebeu que essa mistura, quando secava, tornava-se dura da mesma forma das pedras empregadas na construção. A esse produto foi dado o nome de cimento Portland, que recebeu este nome por apresentar cor, durabilidade e solidez parecidas com o das rochas da ilha britânica Portland.

O cimento Portland de hoje é constituído de clínquer. O clínquer é uma matéria sintetizada e peletizada, resultante da calcinação, a uma temperatura aproximada de 1450°C, de uma mistura de calcário, argila e eventuais corretivos químicos de natureza silicosa, aluminosa e ferrífera, empregado para garantir o quimismo da mistura dentro de limites específicos (KIHARA e CENTURIONE, 2005 *apud* FONSECA, 2010)

A ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) classifica o cimento Portland em 8 tipos, que diferem entre si na composição fazendo com que cada tipo possua características definidas. A tabela 1 apresenta a classificação do cimento Portland e sua composição.

Tabela 1- Composição dos diferentes tipos do cimento Portland.

		Composição (% Em massa)				
Tipo de cimento Portland	Sigla	Clínquer + Gesso	Escória granulada de alto-forno (sigla E)	Material pozolânico (sigla Z)	Material carbonático (sigla F)	Norma Brasileira
Comum	CP I	100	–			NBR 5732
	CP I S	99 – 95	1 – 5			
Composto	CP II-E	94–56	6 – 34	–	0– 10	NBR 11578
	CP II-Z	94–76	–	6 – 14	0– 10	
	CP II-F	94–90	–	–	6–10	
Alto-Forno	CP III	65–25	35–70	–	0–5	NBR 5735
Pozolânico	CP IV	85–45	–	15-50	0–5	NBR 5736
Alta Resistência Inicial	CP V-ARI	100-95	–	–	0–5	NBR 5733
Branco Estrutural	CPB	100–75	–	–	0-25	NBR 12989
Branco Não Estrutural	CPB	74–50	–	–	26–50	

Fonte: ABCP (2002)

Na fabricação de peças pré-moldadas de concreto, dentre os cimentos utilizados, destacam-se os cimentos de alta resistência inicial, Cruz (2003) explica que esse fato se dá devido à necessidade por parte da indústria de pré-fabricados de obter altas resistências iniciais nas pequenas idades, atender as especificações de desempenho mecânico precoce, aumentando sua rotatividade do estoque e diminuindo o capital de giro da indústria.

2.3.4.2. Agregado

Agregado é a palavra utilizada genericamente para os materiais que são essenciais, juntamente com um ou mais aglomerantes e a água, para a confecção de argamassa e concretos (FAGANELLO, 2006).

O agregado segundo a ABNT – 9935/87 é:

Material sem forma ou volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para produção de argamassa e concreto.

Completando, a NBR 7225/93 define como:

Material natural de propriedades adequadas ou material obtido por fragmentação artificial de pedra, de dimensão nominal máxima inferior a 100 mm e de dimensão nominal mínima igual ou superior a 0,075 mm. propriedades adequadas para produção de argamassa e concreto.

Os agregados podem ser classificados quanto à sua origem (naturais/artificiais), à sua densidade (leves/normais/pesados) e ao tamanho dos fragmentos (grãos/miúdos), sendo esta última a mais importante classificação para fins de utilização prática (FRAZÃO, 2005 *apud* Nascimento, 2008). A classificação geral dos agregados compreende os grãos e miúdos, sendo que os grãos são materiais com dimensões iguais ou superiores a 4,8 mm enquanto os miúdos são os materiais com dimensões inferiores a 4,8 mm e superiores a 0,15, geralmente denominados como areias (FAGANELLO, 2006).

A escolha do correto tipo de granulometria dos agregados é fundamental para a obtenção de peças pré-moldadas de concreto de qualidade, influenciando a compacidade e até na textura final das peças (SHACKEL, 1990 *apud* CRUZ, 2003).

Segundo Shackel (1991, *apud* Cruz, 2003), a dimensão máxima dos agregados utilizados em uma dosagem de peças pré-moldadas de concreto deve ficar entre 6 e 12 mm, não sendo admitida a presença de materiais carbonosos (resto de vegetais) ou contaminados por impurezas orgânicas.

2.3.4.3. Areia

A NBR 7211 define agregado miúdo como sendo:

Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150µm, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248, com peneiras definidas pela NBR NM ISO 3310-1.

De acordo com a NBR 7225/1999 a areia é um material natural, de propriedades adequadas, de dimensão nominal máxima inferior a 2,0 mm e mínima igual ou superior a 0,075 mm e que ainda pode ser dividida em três classes, sendo areia grossa, areia média e areia fina, dependendo do tamanho de suas partículas. A areia pode ser obtida também por processos artificiais de fragmentação de rochas ou através de reciclagens.

A escolha do correto tipo de granulometria dos agregados é fundamental para a obtenção de peças pré-moldadas de concreto de qualidade, influenciando a compacidade e até na textura final das peças (Shackel, 1990 *apud* Cruz, 2003).

Com relação ao tipo mais recomendado para peças de concreto intertravadas, Rodrigues (1995) recomenda a utilização de areia de granulometria média, limpa e isenta de impurezas orgânicas. Em seu trabalho Marchione (2012) diz que para produção de peças de concreto para pavimentação são utilizados os mesmos agregados normalmente usados na produção de concreto convencional, tendo-se que levar em conta a dimensão máxima do agregado permitida pelo equipamento que for utilizado.

2.3.4.4. Pó de pedra

Segundo a NBR 7225 (1993) o pó-de-pedra é um material resultante da britagem de rochas que, possui dimensão nominal máxima inferior a 0,075 mm. Existem varias atribuições quanto a sua dimensão. No manual técnico de piso intertravado de concreto, Ponte e Oliveira (2004) escrevem que o pó de pedra é caracterizado por ser proveniente da britagem de rochas sãs, com grãos de diâmetro máximo igual ou inferior a 6,3 mm. Já Marques e Campos (2012) destacam que o pó de pedra possui diâmetro máximo de 4,8 mm, por isso ele pode ser classificado como areia média.

A produção de uma pedreira gera vários produtos, sendo que uns são mais comercializados que outros. De acordo com Faganello (2006), a produção de uma pedreira se divide em cinco produtos, basicamente, a brita 3 (25,0mm a 38,0mm), a brita 2 (19,0mm a 25,0mm), a brita 1 (9,5mm a 19,0mm), brita 0 (4,8mm a 9,5mm), e finos de britagem (material de dimensões inferiores a 4,8mm), anteriormente denominados de areia artificial ou areia industrial, dentre outros nomes. Faganello (2006) enfatiza que algumas pedreiras produzem produtos de diferentes granulometrias, conforme o projeto da planta de produção,

como a granilha (material conforme o pedido do cliente), e o pó de pedra (material com dimensões inferiores a 6,3mm).

Sabe-se que o pó de pedra é um resíduo da exploração de pedreiras, que representa em torno de 15 a 20% da produção de uma instalação de britagem, como consequência da cominuição de rochas, por isso é um material que está muito presente nos pátios das pedreiras, estocados, pois ainda não é muito comercializado, a figura 11 apresenta um pátio de uma pedreira com pilhas desse material.

Figura 10 - Pó de pedra acumulado no pátio de uma pedreira.



Fonte: Marques (2015)

Como o impacto ambiental é um dos assuntos mais debatidos da atualidade, existem muitos trabalhos e pesquisas sobre a utilização do pó de pedra na construção civil, principalmente em substituição da areia. Nos países mais desenvolvidos, essa substituição iniciou-se nos anos setenta, uma década após a produção em série dos primeiros equipamentos especiais usados para britagem do material fino. Assim, viabilizou-se industrialmente a idéia de se produzir pó de pedra em escala comercial (ALMEIDA e SAMPAIO, 2002 *apud* MENOSSI, 2004).

Esse material, também conhecido por areia britada de rocha, areia artificial, finos de pedreira, etc., vem se tornando cada vez mais uma alternativa para substituição da areia natural proveniente dos leitos de rios, à medida que as jazidas de areia natural se esgotam ou sofrem restrição de uso devido à necessidade de proteção ambiental (SILVA; BUEST; CAMPITELI, 2005 *apud* NASCIMENTO, 2008).

A utilização do pó de pedra como agregado miúdo no concreto, quer por motivos económicos, quer por aspectos relacionados à durabilidade, vem sendo analisada e tem gerado grande interesse, não só pelos aspectos ambientais, mas também pelos aspectos económicos, uma vez que as pedreiras poderão comercializar um produto oriundo de resíduo 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 (MENOSSSI, 2004).

Um dos estudos que utilizaram o pó de pedra em substituição da areia natural foi o de Bastos (2003). Nesse estudo ele comprovou que ao substituir parte da areia natural no concreto pelo pó de pedra, ouvi uma melhora na resistência a compressão axial do concreto.

O pó de pedra também é utilizado em blocos de concreto intertravado, trazendo em quantidades pequenas um acabamento melhor ao bloco e aumentando a coesão da mistura, não podendo usar este material quando o mesmo estiver contaminado com argila.

2.3.4.5. Água

A água é um importante componente do concreto e tem basicamente duas funções: provocar a reação de hidratação dos compostos do cimento, com seu consequente endurecimento, e aumentar a trabalhabilidade para que possa preencher adequadamente as fôrmas, sem causar vazios ou nichos. Logo, dá para dizer que a água é tão ou mais importante que o próprio cimento, pois, além das funções citadas, é ela quem determina a dosagem dos aditivos químicos plastificantes a serem aplicados no concreto (AOKI, 2016).

Sobre a água de amassamento que é utilizada para a fabricação do concreto, existem poucos trabalhos ou estudos no meio científico, sendo que, as próprias normas brasileiras e até mesmos as internacionais, fazem pequenas exigências em relação à água de amassamento, especificando e recomendando apenas que esta seja tratada, atingindo alguns índices de potabilidade, e que não apresentem nenhum contaminante que possa alterar as reações de hidratação dos compostos cimentícios (SANTOS, 2006).

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, por meio de normalização específica (NBR 12654: 1992 e NBR 6118: 2003) recomenda que a água de amassamento seja avaliada nos seguintes itens: quantidade de matéria orgânica presente

expressa em oxigênio consumido; teor de sólidos dissolvidos e sólidos totais; teores de sulfetos e cloretos, pH e teor de sólidos em suspensão, não se referindo a qualquer tipo de alteração física ou química da mesma.

A função da água no concreto é transformar os compostos anidros presentes no cimento Portland em produtos hidratados. De acordo com Petrucci (1005, *apud* Fonseca 2010), a hidratação do cimento consiste na transformação de compostos anidros mais solúveis em compostos hidratados menos solúveis.

Segundo Neville (1997, *apud* Lodi, 2006), impurezas contidas na água podem influenciar negativamente, a resistência do concreto, causar manchas em sua superfície, ou ainda, resultar em corrosão da armadura. Por estas razões, deve-se dar atenção à qualidade da água para amassamento e pra cura do concreto, Neville afirma que por via de regra a água deverá ter pH de 6,0 a 9,0.

Com relação às peças de concreto para pavimentação, no Boletim Técnico o engenheiro Rodrigues (1995) diz que a água a ser utilizada deve estar livre de impurezas que possam prejudicar a hidratação do cimento e que a água tratada por órgãos públicos ou autarquias que se encarregam desses serviços prestam-se, quase sempre, para o preparo do concreto.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia do trabalho tem o intuito de estudar a influência da substituição parcial do agregado miúdo natural (areia), pelo agregado miúdo artificial (pó de pedra) na fabricação de blocos de concreto intertravado. Para isso foram estudadas quatro diferentes proporções de substituição dos materiais, dessa forma, a metodologia do trabalho se caracteriza por ser do tipo experimental e comparativa.

O presente capítulo descreve todo o processo experimental para realização do trabalho, desde a seleção dos materiais, obtenção dos mesmos, fabricação dos blocos, adoção de métodos de ensaios, equipamentos e parâmetros especificados por norma. Para isto, foi dividido em dois tópicos: Materiais e Métodos.

3.1. MATERIAIS

Neste tópico serão apresentados os materiais constituintes utilizados para fabricação dos blocos e todo o procedimento utilizado para fabricação dos mesmos.

3.1.1. Materiais constituintes

Os materiais utilizados na composição do concreto para produção do bloco pré-moldado estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2: Materiais utilizados para fabricação dos blocos e suas procedências.

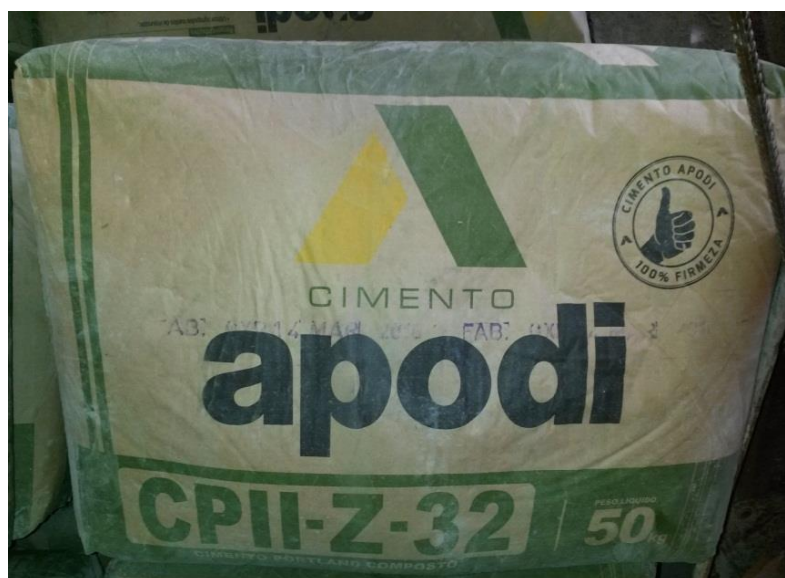
MATERIAIS UTILIZADOS	PROCEDÊNCIA
CIMENTO PORTLAND	CIMENTO APODI
AREIA	AREIA DO RIO UMARI
PÓ DE PEDRA	PEDREIRA POTIGUAR EIRELI
ÁGUA	CAERN

Fonte: Autor (2016).

3.1.1.1. Cimento Portland

O cimento Portland utilizado 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. É um tipo de cimento que pode ser utilizado para diferentes fins, como também para os pavimentos de concreto. A figura 12 ilustra o cimento Portland usado.

Figura 11: Cimento Portland composto CII-Z-32, Apodi.



Fonte: Autor (2016).

A composição física e química do cimento CP II Z 32 está apresentada na tabela 3.

Tabela 3: Composição química e física do cimento CP II Z 32

ENSAIOS FISICOS									
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)

3.1.1.2. 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, essa areia é de granulometria média. A areia da pesquisa foi doada pela prefeitura municipal de Olho D'Água dos Borges. A Figura 13 mostra a areia utilizada na fabricação.

Figura 12: Areia natural (média) usada para produção dos blocos.



Fonte: Autor (2016).

3.1.1.3. Pó de pedra

O pó de pedra usado na pesquisa é oriundo da rocha granítica da região adjacente ao município de Caraúbas, no Rio Grande do Norte. Esse agregado artificial é obtido através dos processos de britagem das rochas graníticas, sendo este pó fino (resíduo) resultante deste processo, produzido na Pedreira Potiguar, na cidade de Caraúbas/RN. A Figura 14 mostra como o pó de pedra fica armazenado no pátio da pedreira.

Figura 13: Pó de pedra da Pedreira Potiguar.



Fonte: Autor (2016).

3.1.1.4. Água

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

3.2. MÉTODOS

3.2.1. Caracterização dos materiais

Para caracterização dos materiais foi feita a adoção de alguns métodos de ensaios, são eles:

3.2.1.1. Ensaio de composição granulométrica dos agregados miúdos

O ensaio de composição granulométrica dos agregados miúdos foi realizado de acordo com a NBR 7217/1987. Ela define a granulometria com sendo um método de análise que visa classificar as partículas de uma amostra pelos respectivos tamanhos e medir as frações correspondentes a cada tamanho, e através desta pode-se determinar o módulo de finura e a dimensão máxima característica do agregado, entre outras.

Este ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais e Processos Construtivos da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Campus Caraúbas. Para realização do ensaio, primeiramente selecionou-se um conjunto de peneira de acordo com a norma. As peneiras 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 então encaixado em ordem crescente da base para cima. A Figura 19 ilustra o conjunto de peneiras utilizado para o ensaio.

Figura 14: Conjunto de peneiras utilizado para o ensaio.

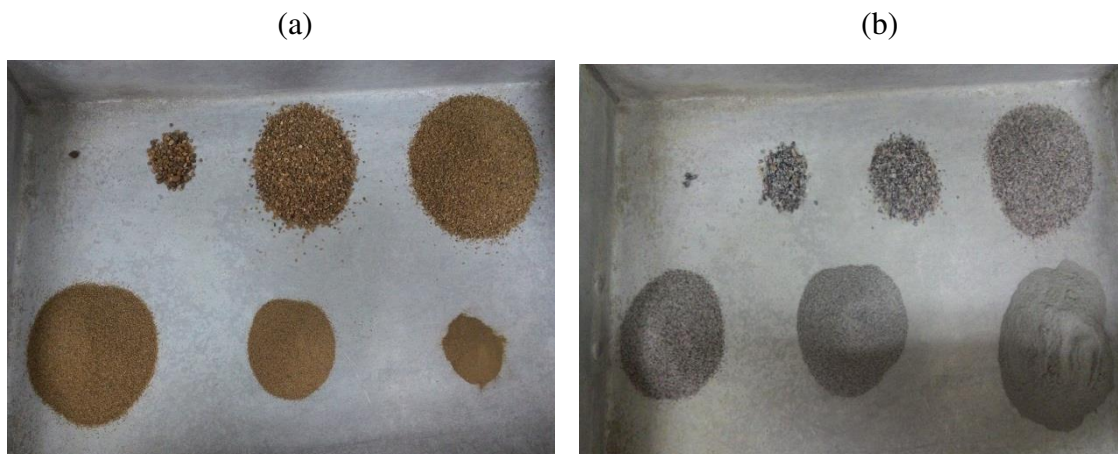


Fonte: Autor (2016).

De acordo com a NBR 7217/1987 para ensaios com agregado de diâmetro máximo menor que 4,8 mm utiliza-se uma amostra mínima de 500 g. Dessa forma, pesou-se com o auxílio de uma balança analítica uma amostra de 500 g para cada um dos agregados. Adicionou-se aos poucos a amostra do agregado no conjunto de peneiras para evitar o acúmulo de material e agitou-se manualmente por cerca de 2 minutos. Após a agitação,

retirou-se o material retido na primeira peneira e separou-se para determinação de sua massa. Em seguida, o conjunto com as peneiras foi novamente agitado por cerca de 1 minuto retirando então a peneira superior para determinação da massa retida na mesma. Foi realizado o mesmo procedimento com as demais peneiras para determinação das massas retidas em cada uma delas. A Figura 20 mostra o material que ficou retido em cada uma das peneiras.

Figura 15: Material retido de cada uma das peneiras do conjunto: (a) Areia e (b) Pó de pedra.



Fonte: Autor (2016).

Para determinação da dimensão máxima característica do agregado ($D_{m\acute{a}x}$) realizou-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 valor encontrado é então o módulo de finura do agregado.

3.2.1.2. 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 pesou-se inicialmente 500 g da amostra do agregado miúdo natural (areia) e artificial (pó de pedra). Em seguida, adicionou-se ao frasco Chapman 200 cm³ de água destilada até atingir o local correspondente do frasco para a quantidade de água e deixou-se em repouso por alguns minutos para que a água presente nas paredes internas escorressem. Após isso, adicionou-se o agregado miúdo no frasco, de forma cuidadosa para evitar que uma grande quantidade de ar se incorporasse na mistura e mascarasse o resultado final, fazendo sempre movimentos giratórios com o frasco para eliminar esse ar. Colocado todo o agregado no frasco esperou-se alguns minutos para sedimentação completa de todos os grãos e partículas finas, como mostra a Figura 21, para então fazer a leitura do nível atingido pela água no frasco.

Figura 16: Sedimentação dos agregados no frasco Chapman.



Fonte: Autor (2016).

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)

3.2.1.3. Determinação da massa unitária dos agregados miúdos.

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 para determinação da massa unitária, são os métodos 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 para $D_{\text{máx}} \geq 37,5$ mm e o método C é para determinação de massa unitária solta de agregado seco ou úmido. Como o agregado estava em seu estado seco e solto, o método utilizado para determinação da massa unitária foi o método.

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. Esse recipiente possui 151,75 mm de diâmetro e 185,7mm de altura, composto por alças rígidas. Logo após, despejou-se o agregado miúdo no recipiente a uma altura de 5 cm da borda superior do recipiente, a uma velocidade constante, com o auxílio de uma concha, até que o agregado transbordasse. Nivelou-se a superfície do recipiente com o uso de uma régua metálica para pesar e registrar a massa do conjunto recipiente-agregado, obtendo assim sua massa. A figura 22 ilustra processo de pesagem da amostra de areia.

Figura 17: Conjunto recipiente-agregado sendo pesado.



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);

3.2.1.4. Ensaio de umidade dos agregados miúdos

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

Este ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção do Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN), Campus Mossoró. Para determinação da umidade dos agregados, tomou-se como base o método descrito pela NBR 9939 (1987) com o aparelho Speedy (Figura 23).

Figura 18: Aparelho Speedy.



Fonte: Autor (2016).

Neste método a umidade é determinada pela pressão do gás, resultante de ação da água contida na amostra sobre o carbureto de cálcio que é introduzido no aparelho. Este método é muito utilizado no campo principalmente por fornecer o resultado da amostra na hora.

Primeiramente separou-se 12 g da amostra do agregado para ser introduzido na câmara do Speedy conforme estabelecido pela norma. Após o agregado ser introduzido na câmara, incluiu-se uma ampola de carbureto de cálcio com cuidado para que não quebrasse. Em seguida, fechou-se a câmara do Speedy com a tampa e agitou-se o aparelho repetidas vezes até que a ampola quebrasse e se misturasse com a amostra do agregado. Essa mistura é necessária para que o carbureto reaja com a amostra e a partir da pressão que o manômetro mostra, possa ser determinada a umidade do agregado em análise.

Determinou-se então a umidade do agregado a partir da leitura da pressão no manômetro em kg/cm² e da massa de agregado através da tabela 4 abaixo.

Tabela 4: 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).

3.2.2. Produção dos blocos de concreto intertravados

3.2.2.1. Determinação do traço

Após a aquisição de todos os materiais necessários para produção dos blocos determinou-se o traço que seria utilizado. Foram realizadas pesquisas sobre os traços usados na produção de blocos de concreto destinados à pavimentação, 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 tomado 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 dois traços fornecidos pelo o Dossiê Técnico utiliza em sua composição brita do tipo 1 e são traços recomendados para blocos destinados a pisos leves, médios e pesados, exigindo uma maior resistência do bloco.

O traço adotado confecciona em média 180 blocos. Como o trabalho não necessitava dessa quantidade de blocos, já que o número do corpo de prova para cada traço estabelecido foi de 24 blocos e para evitar desperdício de matéria prima, dividiu-se o traço por cinco, para diminuir a quantidade de blocos fabricas, dessa forma a quantidade de peças estimadas foi de 36 através do seguinte traço:

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

3.2.2.2. Determinação das porcentagens de pó de pedra

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

Tabela 5: Traços utilizados no trabalho.

	Quantidade de pó de pedra em substituição à areia
Traço 1	0% de pó de pedra
Traço 2	15% de pó de pedra
Traço 3	25% de pó de pedra
Traço 4	50% de pó de pedra

Fonte: Autor (2016)

Desse modo, recalculou-se o 2°, 3° e 4° traço novamente, incluindo agora o agregado artificial (pó de pedra). A tabela 6, apresenta a quantidade de cada material usado para os quatro diferentes traços na confecção dos blocos.

Tabela 6: Quantidade de materiais de cada traço.

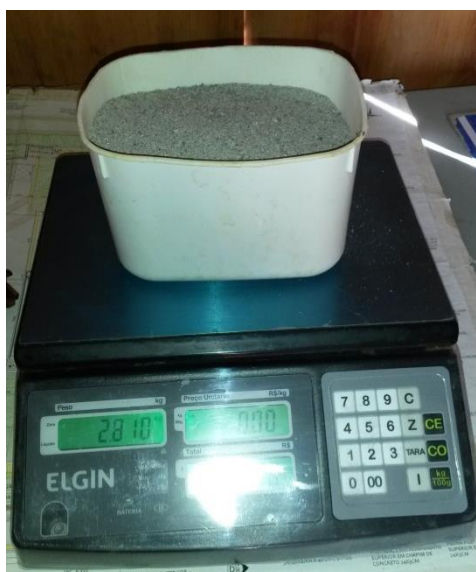
MATERIAIS	1° TRAÇO	2° TRAÇO	3° TRAÇO	4° TRAÇO
Areia	54 Kg	45,9 Kg	40,5 Kg	27 Kg
Pó de pedra	-	8,1 Kg	13,5 Kg	27 Kg
Cimento	10 Kg	10 Kg	10 Kg	10 Kg
Água	4,6 L	4,6 L	4,6 L	4,6 L

Fonte: Autor (2016).

3.2.2.3. Fabricação do bloco intertravado

Com a determinação das quantidades necessárias de cada material para fabricar o bloco, pesou-se, com o auxílio de uma balança semi-analítica, os materiais utilizados para seus respectivos traços. A Figura 15 ilustra o pó de pedra sendo pesado.

Figura 19: 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 16, 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 20: Mistura manual dos materiais para formação da massa de concreto.



Fonte: Autor (2016).

Com a massa de concreto, passou-se um desmoldante nos moldes dos corpos de prova antes de lançar a massa para maior facilidade de retirá-los depois de moldados. Logo em seguida, colocou-se a massa nos moldes e com um movimento manual os blocos foram moldados, produzindo quatro corpos-de-prova de uma vez. A máquina usada para moldagem mecânica dos blocos é denominada ATLANTICA MAQ Bloqueira. A Figura 17 mostra a máquina utilizada para fabricação dos blocos.

Figura 21: 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 e ensaio de absorção dos blocos. 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 são de dimensões de 200mmx100mmx50mm. Esses blocos são semelhantes aos blocos do tipo I estipulado pela NBR 9781 (2013), que são blocos retangulares, com comprimento máximo de 250mm, largura mínima de 97mm e espessura mínima de 6mm, apresentam relação comprimento/largura igual a 2, que se arranjam entre si nos 4 lados e que podem ser assentados em fileiras ou em espinha de peixe. Para efeito de estudo, a análise dos blocos foram feitas em comparação com as exigências do bloco tipo I, que é o que apresenta características mais semelhantes com este. A Figura 18 ilustra os blocos intertravados fabricados das 4 porcentagens de pó de pedra aplicadas.

Figura 22: Blocos intertravados produzidos de (0%, 15%, 25% e 50 % de pó de pedra).



Fonte: Autor (2016).

3.2.3. Caracterização dos blocos

3.2.3.1. Análise dimensional das peças

A análise dimensional das peças de concreto para pavimentação consiste na determinação das medidas da peça (largura, comprimento, altura) com precisão de 0,05 mm.

Este ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais e Processos Construtivos da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Campus Caraúbas. Para o ensaio foi observado as condições das arestas dos blocos, se estavam retas e uniformes. Tomou-se cuidado para realizar o ensaio num plano reto, para evitar erros. Realizou-se a análise em 6 blocos para cada traço, como estipula a norma que para um lote de até 300 m² a amostra mínima deve ser essa, com ajuda de um paquímetro universal do modelo Starret 125MEB, como ilustra a figura 23.

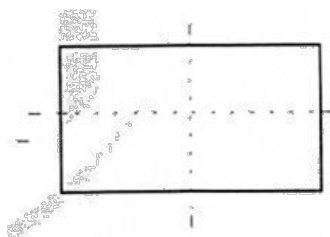
Figura 23: Paquímetro universal Starret 125MEB.



Fonte: Autor (2016).

Realizou-se as medições nos locais aconselhados pela norma, a figura 24 apresenta os locais indicados para as medições, de acordo com o bloco utilizado.

Figura 24- Exemplo de peças de concreto do tipo I - locais para medição na análise dimensional.



Fonte: NBR 9781 (2013).

Figura 25: Análise dimensional dos blocos com o paquímetro.



Fonte: Autor (2016).

A tabela 7 apresenta os valores de tolerância permitidos pela norma NBR 9781 (2013).

Tabela 7: Tolerâncias dimensionais das peças de concreto.

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

Fonte: NBR 9781 (2013).

3.2.3.2. Absorção de água dos blocos

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

A NBR 9781 (2013) não especifica a idade dos corpos de prova para realização do ensaio, portanto, tomou-se como base a idade utilizada no trabalho de Cruz (2003) que se referenciou na MB – 3459, realizando os ensaios de 28 dias. Para efeito de comparação, foi realizado também o de 21 dias.

Realizou-se o ensaio de absorção de água para 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. Primeiramente retirou-se todo o pó solto na superfície do bloco com a ajuda de um pano, seguindo-se com a imersão dos corpos de prova dentro de um tanque com água, como mostra a figura 27, a uma temperatura de aproximadamente 23 °C durante 24 horas.

Figura 26: Corpos de prova imergidos 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. Dessa forma, pesou-se cada um dos blocos com auxílio de uma balança de mão, mostrada na figura 27, na condição saturada com superfície seca e anotou-se cada uma das massas dos blocos, tomando-se como m_2 .

Figura 27: Pesagem dos corpos de prova com balança de mão.



Fonte: Autor (2016).

Os blocos então foram levados para a estufa com temperatura de $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ para secarem, como mostra a figura 28. Os blocos permaneceram na estufa por 24 horas para que toda a água contida neles fosse evaporada.

Figura 28: Blocos na estufa para secagem.



Fonte: Autor (2016).

Em seguida, após secagem dos blocos, pesou-se novamente cada um deles, anotando sempre a massa encontrada e registrando como m_1 . Essa operação de pesagem dos corpos de prova depois de secos não durou mais que 10 minutos, como exige a norma.

Os valores de absorção de água foram então calculados de acordo com a seguinte equação 03:

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \text{ (Equação 03)}$$

Onde:

A : absorção do corpo de prova (%);

m_1 : massa do corpo de prova seco (g);

m_2 : massa do corpo de prova saturado (g).

4. RESULTADOS E DISCURSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos para a caracterização dos materiais e dos blocos de concreto intertravados.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Os resultados de caracterização dos materiais são apresentados para os dois tipos de agregados miúdo utilizados no trabalho: Areia e pó de pedra.

4.1.1. Ensaio de composição granulométrica dos agregados miúdos

A partir dos ensaios realizados de composição granulométrica, foi possível retirar os valores de massas em % retida e retida acumulada em cada peneira utilizada. Os resultados para a areia e o pó de pedra estão apresentados na tabela 8.

Tabela 8: 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).

Com esses 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 característico foi 2,36 mm tanto para a areia como para o pó de pedra, ou seja, esse é o maior diâmetro que vai ter na amostra de agregado em análise.

Através dos dados coletados na análise de granulometria de 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 a granulometria dos agregados miúdos de acordo com a tabela 9.

Tabela 9: 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 e o pó de pedra como agregado miúdo de granulometria fina, pois apresenta um MF menor que 2,40, isso quer dizer que a areia analisada é mais grossa que o pó de pedra.

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, é também utilizado para separar diferentes tipos de agregados de acordo com o seu módulo de finura em pátios de empresas que vendem agregados para construção civil.

4.1.2. Ensaio de massa específica real dos agregados miúdos

Os resultados de massa específica foram obtidos de acordo com a seguinte equação 1:

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

Os valores necessários para o cálculo da massa específica foram obtidos de acordo com o ensaio estabelecido pela norma NBR 9776 (1987). Através dos cálculos, 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.

Isso quer dizer que o pó de pedra, apresenta uma massa superior a areia, para um mesmo volume analisado, ou seja, o pó de pedra tem uma massa real - desconsiderando os vazios existentes - maior por volume do que a areia. Esses resultados são importantes para o cálculo do traço do concreto a ser utilizado, pois fornecem a informação de sua massa real na dosagem do concreto, influenciando diretamente nas características finais do produto.

4.1.3. Ensaio de massa específica solta dos agregados (massa unitária)

A massa unitária foi determinada pela Equação 2:

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

Os valores necessários para o cálculo da massa unitária dos agregados foram obtidos a partir do ensaio estabelecido pela norma NBR NM 45 (2006). Primeiramente foi determinado o valor do Volume do recipiente, igual a 0,003359 m³. Conhecido o volume do recipiente foram encontrados os valores de massa unitária para a areia de 1440,9 Kg/m³ e para o pó de pedra de 1305,4 Kg/m³. Assim, pode-se dizer que o agregado areia, quando analisado junto com o volume de vazios de sua composição, apresenta uma massa maior que o do pó de pedra, para um mesmo volume analisado.

4.1.4. Ensaio de umidade dos agregados miúdos

A determinação da umidade dos agregados da areia e pó de pedra foi feita com base no método descrito pela NBR 9939 (1987). A umidade do agregado é então determinada a partir da leitura da pressão no manômetro em kg/cm² e da massa de agregado através da tabela 4. Para a massa de 12 g, que foi o que deu para utilizar no equipamento, 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 são apresentados a seguir:

4.2.1. Análise dimensional dos blocos

Os resultados das medições dos blocos serão apresentados na Tabela 10:

Tabela 10: Média das dimensões do bloco intertravado.

<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).

Como se pode observar, os blocos apresentaram comprimento, largura e espessura dentro da tolerância dos 3mm, atendendo também ao critério do bloco tipo I, que foi o utilizado como parâmetro para a avaliação, quanto a relação comprimento/largura igual a dois.

4.2.2. Absorção de água dos blocos

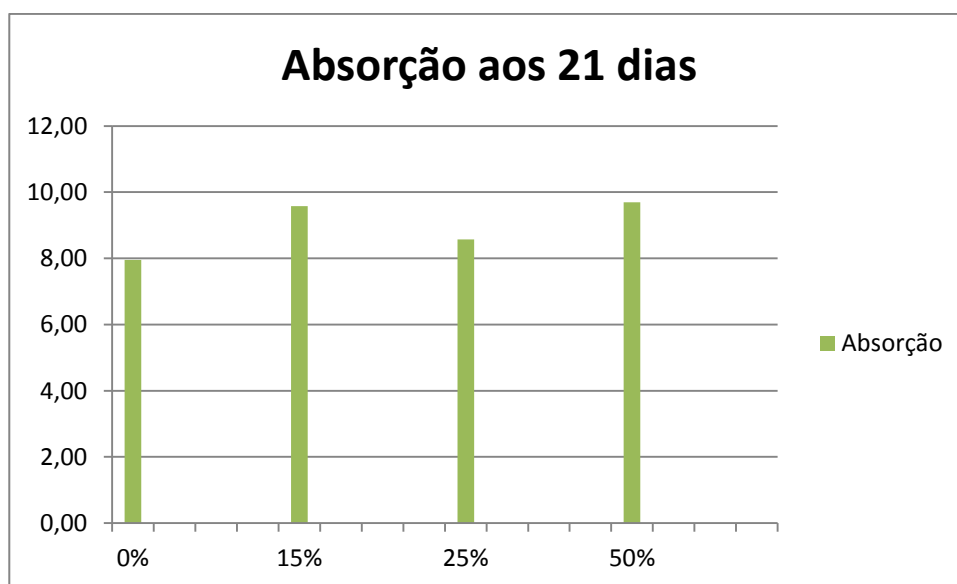
O ensaio de absorção de água para caracterização dos blocos foi realizado de acordo com o estabelecido pela NBR 9781 (2013). A partir deste foi possível determinar a absorção média para cada tipo de bloco analisado para as idades de 21 e 28 dias. A Tabela 11 apresenta os resultados do ensaio de 21 dias e a figura 29 as médias de absorção para cada tipo de bloco.

Tabela 11: Absorção para idade de 21 dias.

Blocos		Massa sarurada (g)	Média (g)	Massa seca (g)	Média (g)	Absorção (%)
0%	B1	2170	2070	2020	1917,5	7,95
	B2	2000		1870		
	B3	2020		1850		
	B4	2090		1930		
15%	B1	2130	2145	1920	1957,5	9,58
	B2	2110		1920		
	B3	2260		2050		
	B4	2080		1940		
25%	B1	2080	2057,5	1920	1895	8,58
	B2	2130		1950		
	B3	2000		1850		
	B4	2020		1860		
50%	B1	2050	2092,5	1870	1907,5	9,70
	B2	2120		1930		
	B3	2130		1930		
	B4	2070		1900		

Fonte: Autor (2016).

Figura 29: Absorção média dos blocos aos 21 dias.



Fonte: Autor (2016)

De acordo com os dados pode-se perceber que os blocos que apresentam maior absorção de água foram os de 15% e 50% de pó de pedra, com valores de absorção de 9,58 e 9,70, respectivamente.

Em pesquisas sobre a influência da substituição da areia por pó de pedra, foi constatado que quanto maior a quantidade de pó de pedra inserido no concreto, maior será a quantidade de água necessária na mistura e maior será a absorção de água desse concreto endurecido, no caso, o bloco de concreto intertravado. Quanto maior a quantidade de material fino na composição, maior será a quantidade de água necessária para que ocorram as reações de hidratação do cimento, deixando a mistura menos densificada e consequentemente mais porosa. Isso se dá também, pelo fato da contribuição da área superficial, que quanto menor a partícula do agregado, maior será a área superficial por unidade de massa a ser molhada. Visto dessa forma, os valores de absorção de água deveriam aumentar de acordo com o aumento da porcentagem de pó de pedra na composição do bloco e não foi o que apresentou nos resultados, pois o valor médio de absorção para 25% de pó de pedra foi menor que para o de 15%, embora o maior valor tenha sido o de 50%. Isso pode ter acontecido por a porcentagem de 25% de pó de pedra, ter proporcionado uma otimização na mistura com o agregado areia, fazendo com que o resultado final do bloco não apresentasse um valor tão alto para absorção ou a mistura da massa ter sido de forma manual.

De toda forma, os blocos em estudo, não atenderam a especificação da norma de blocos de concreto para pavimentação quanto à absorção de água, pois a NBR 9781 (2013) estabelece que os blocos devem apresentar valores de absorção de água de no máximo 7%.

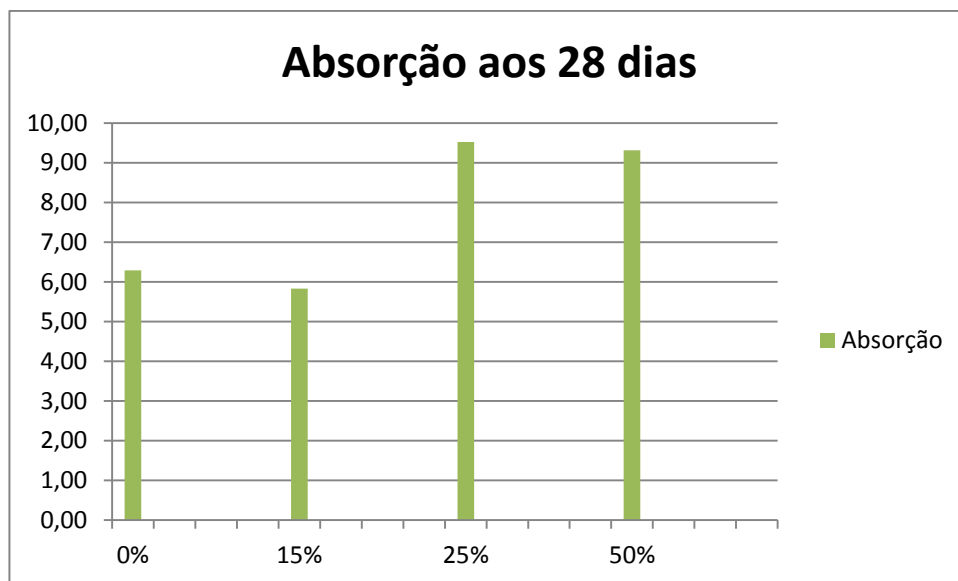
Os resultados para o ensaio de 28 dias estão dispostos na Tabela 12 e a figura 29 as médias de absorção para cada tipo de bloco.

Tabela 12: Absorção de água dos blocos para a idade de 28 dias.

Blocos		Massa sarurada (g)	Média	Massa seca (g)	Média	Absorção
0%	B1	2110	2070	1970	1947,5	6,29
	B2	2030		1900		
	B3	2010		1880		
	B4	2130		2040		
15%	B1	2130	2042,5	2000	1930	5,83
	B2	1940		1860		
	B3	2070		1950		
	B4	2030		1910		
25%	B1	2140	2100	1930	1917,5	9,52
	B2	2060		1870		
	B3	2150		1950		
	B4	2050		1920		
50%	B1	2280	2202,5	2050	2015	9,31
	B2	2140		1970		
	B3	2100		1890		
	B4	2290		2150		

Fonte: Autor (2016).

Figura 30: Absorção média dos blocos aos 28 dias.



Fonte: Autor (2016)

Para o ensaio de absorção na idade de 28 dias, que é o mais indicado para efeito de estudo, os blocos que apresentaram maior absorção de água foram os de 25% e 50% de adição de pó de pedra, com valores de absorção de 9,52% e 9,31% respectivamente, seguidos por o de 0% de pó de pedra com uma absorção de 6,29%. O que apresentou menor valor de absorção foi o de 15%, com apenas 5,83% de absorção de água. Os valores de absorção de água maiores para as idades de 25% e 50% era o mais esperado, já que de acordo com a literatura, quanto maior a porcentagem de finos na mistura, maior será a absorção de água do concreto. Embora esses valores tenham sido os mais altos, esses tipos de bloco não podem ser comercializados, pois a absorção de água ultrapassa o limite de 7% estipulado pela NBR 9781 (2013). Os blocos que ficaram dentro do permitido pela norma foram os de 0% de pó de pedra com absorção de água de 6,29% e de 15% de pó de pedra com uma absorção de 5,83%.

5. CONCLUSÃO

Foi realizado o estudo da influência da substituição parcial do agregado natural por pó de pedra na confecção de blocos de concreto para pavimentação intertravados. Nesse estudo foram avaliados a influência dessa substituição na absorção de água do bloco, para quatro tipos de blocos diferentes, com teores de substituição de pó de pedra variando de 0%, 15%, 25% e 50% de substituição de areia natural de granulometria média por pó de pedra de origem granítica.

Através dos ensaios de caracterização dos blocos, foi possível tirar algumas conclusões:

- Os blocos produzidos com a prensa ATLANTICA MAQ satisfizeram a condição de análise dimensional, apresentando todas as médias das medidas dentro da tolerância de 3mm, já que a forma utilizada foi de 200mmx100mmx50mm.
- Em relação à absorção de água, os corpos de prova com idade de 21 dias não atenderam as exigências da norma. Já para os ensaios realizados com 28 dias de cura, os blocos atenderam parcialmente a norma, pois os corpos de prova com 25% e 50% de pó de pedra ficaram com índices superior aos exigidos em norma.

De acordo com o que foi visto, pode-se concluir que a adição de pó de pedra na composição dos blocos intertravado em substituição parcial da areia natural, influencia na absorção de água, fazendo com que esse valor aumente a medida que a quantidade de pó de pedra é aumentada.

Dessa forma, os blocos com 15% de substituição de areia natural por pó de pedra é uma alternativa viável para esse material, visto que atenderia as exigências quanto a dimensões mínimas e absorção de água e ainda utilizaria um material que é encontrado em grandes quantidades nas pedreiras, diminuindo o consumo da areia natural, contribuindo assim, para preservação do meio ambiente.

6. REFERÊNCIAS

ABCP. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. São Paulo: ABCP, 2002, 28 p.

ACIOLI, Laura Albuquerque. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte**. 2005. 162 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

ALESSI, Fernando; KOKOT, Pedro Júnior; GOMES, Júlio. **Comparação do escoamento superficial gerado por pavimentos permeáveis em blocos de concreto e asfalto poroso**. da Vinci, Curitiba, v. 3, n. 1, p.139-156, 2006.

AOKI, Jorge. **Adicionar água suplementar ao concreto exige cuidados**. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/adicionar-agua-suplementar-ao-concreto-exige-cuidados/>>. Acesso em: 24 mar. 2016.

ARAÚJO, Paulo Roberto de; TUCCI, Carlos E. M.; GOLDENFUM, Joel A.. **Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial**. Porto Alegre – Rs. p.1-8, abr. 2010.

BASTOS, S. R. B., **Uso de areia artificial em substituição parcial da areia fina para produção de concretos convencionais**. In: 45º Congresso Brasileiro de Concreto – IBRACON. Anais: Instituto Brasileiro de Concreto, Vitória, agosto de 2003.

BRASIL. IBGE. . **Pesquisa de Informações Básicas Municipais - Munic 2013**. 11. ed. Rio de Janeiro: Ibge, 2014. 282 p.

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.

CONCRETO. In: **CARACTERIZAÇÃO do concreto com pó de pedra**. São Paulo - Sp., 2006. p. 54-64.

COSTA, Cauê Silva; ALVES, Edipo Montsech Amorim; BARBOZA, Thiago Dias. **Uso de pavimentos permeáveis como medida de controle das inundações urbanas**. 2011. 89 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Anhembí Morumbi, São Paulo - Sp, 2011.

CRUZ, Luiz Otávio Maia. **Pavimento Intertravado de Concreto: Estudo dos Elementos e Métodos de Dimensionamento**. 2003. 281f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, Rio de Janeiro.

DICIONÁRIO de Português Online Michaelis. São Paulo - Sp: Editora Melhoramentos Ltda, 1998.

FAGANELLO, Adriana Macedo Patriota. **Rejeitos de britagem de origem basáltica: caracterização e utilização em solo-cimento na região de Londrina (PR)**. 2006. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Edificações e Saneamento, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2006.

FIORITI, Cesar Fabiano; INO, Akemi; AKASAKI, Jorge Luís. **Avaliação de blocos de concreto para pavimentação intertravada com adição de resíduos de borracha provenientes da recauchutagem de pneus**. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 7, n. 4, p.43-54, ago. 2007.

FIORITTI, Cesar Fabiano. **Pavimentos Intertravados de Concreto Utilizando Resíduos de Pneu como Material Alternativo**. 2007. 218f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, São Carlos.

FONSECA, Adriana Pinheiro. **Estudo comparativo de concretos com agregado graúdo reciclado de telha cerâmica e agregado graúdo natural**. 2006. 223 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.

FONSECA, Gustavo Celso da. **Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil: uma abordagem epistêmica**. 2010. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

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.

LODI, Victor Hugo. **Viabilidade técnica e econômica do uso de areia de britagem em concretos de cimento portland na região de chapecó-sc**. 2006. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

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**. Dissertação (Mestrado) – UFPB/CT – João Pessoa, 2007. 118p.

MARCHIONE, Mariana Lobo. **Desenvolvimento de técnicas para caracterização de concreto seco utilizado na fabricação de peças de concreto para pavimentação intertravada**. 2012. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo - Sp, 2012.

MARQUES, Maria Lidianie; CAMPOS, Kmilly dos Anjos. **Estudo da adição do pó de pedra em argamassas de revestimento e assentamento**. Pindorama - Revista Eletrônica Científica do Ifba, Eunápolis/ba, v. 3, p.150-164, jul./dez. 2012. Disponível em: <http://www.revistapindorama.ifba.edu.br/edicao_3.php>. Acesso em: 12 out. 2015.

MAUS, Victor Wegner; RIGHES, Afranio Almir; BURIOL, Galileo Adeli. **Pavimentos permeáveis e escoamento superficial da água em áreas urbanas**. In: **i simpósio de recursos hídricos do norte e centro-oeste**, 1., 2015, Santa Maria Rs. 2015. v. 1, p. 1 - 8.

MEHTA, P. K.; Monteiro, P.J.M. **Concreto: estrutura, propriedade e materiais**. 1a Ed.

MENOSSEI, Rômulo Tadeu. **Utilização do pó de pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto**. 2004. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista – Unesp, Ilha Solteira – Sp, 2004.

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

NASCIMENTO, Gizela Barbosa do. **Caracterização e utilização de pó-de-pedra em revestimentos para restauração de edificações históricas em estilo art déco.** 2008. 189 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

NBR 12654: Controle tecnológico de materiais componentes do concreto. Rio de Janeiro, 1992.

NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento. Rio de Janeiro, 2006.

NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação, Rio de Janeiro, RJ, 2009.

NBR 7217: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

NBR 7225: Materiais de pedra e agregados naturais. Rio de Janeiro, 1993^a.

NBR 9776: Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro, 1987.

NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2013.

NBR 9935: Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro, 1987.

NBR 9939: Agregados - Determinação do teor de umidade total, por secagem, em agregado gráudo, Rio de Janeiro, 1987.

NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios, Rio de Janeiro, 2006.

PINTO, Liliane Lopes Costa Alves. **O desempenho de pavimentos permeáveis como medida mitigadora da impermeabilização do solo urbano.** 2011. 283 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Hidráulica, Universidade São Paulo, São Paulo - SP, 2011.

PONTE, Aquiles Gadelha; OLIVEIRA, Lewton Parente de. **Manual Técnico de Piso Intertravado de Concreto.** T & A Blocos e Pisos, 2004.

RODRIGUES, Públio Penna Firme. **Boletim técnico: Fabricação de Blocos Pré-Moldados de Concreto para Pavimentação Prática Recomendada.** São Paulo - Sp: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1995.

SANTOS, Ayrton Hugo de Andrade e. **Estudo comparativo das propriedades mecânicas do concreto produzido com água tratada magneticamente.** 2006. 154 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerias, Belo Horizonte, 2006.

SANTOS, Osvaldo Cruz. **Formulação de bloco intertravado cerâmico com adição de resíduos urbanos e industriais.** 2013. 178 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência e Engenharia dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-rn, 2013.

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.

TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas.** Porto Alegre: ABRH, 2007. 389 p.

VIEIRA FILHO, José Orlando. **Avaliação da resistência à compressão do concreto através de testemunhos extraídos: contribuição à estimativa do coeficiente de correção devido aos efeitos do broqueamento.** 2007. 217 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo - Sp, 2007.

WIEBBELLING, Paula Orvana Guimarães. **Pavimento com blocos intertravados de concreto: estudo de caso na univates.** 2015. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Unidade Integrada Vale do Taquari de Ensino Superior, Lajedo, 2015.