FACULDADES INTEGRADAS DE ARACRUZ - FAACZ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

CID RAFAEL SALVADOR SALY
JORDANIA DIAS PATRICIO
POLIANE STOFLE LOPES
THAIS CRISTINA BASTOS DE ARAUJO

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E ÍNDICE DE ABSORÇÃO DA ÁGUA DE PAVERS INTERTRAVADOS PRODUZIDOS COM LAMA ABRASIVA

ARACRUZ
2019

CID RAFAEL SALVADOR SALY
JORDANIA DIAS PATRICIO
POLIANE STOFLE LOPES
THAIS CRISTINA BASTOS DE ARAUJO

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E ÍNDICE DE ABSORÇÃO DA ÁGUA DE PAVERS INTERTRAVADOS PRODUZIDOS COM LAMA ABRASIVA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Aracruz, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador(a): Prof.: Harerton Dourado

ARACRUZ
2019

CID RAFAEL SALVADOR SALY
JORDANIA DIAS PATRICIO
POLIANE STOFLE LOPES
THAIS CRISTINA BASTOS DE ARAUJO

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E ÍNDICE DE ABSORÇÃO DA ÁGUA DE PAVERS INTERTRAVADOS PRODUZIDOS COM LAMA ABRASIVA

Trabalho de conclusão de curso apresentado à coordenadoria do curso de Engenharia Civil das Faculdades Integradas de Aracruz, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 4 de dezembro de 2019

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Hareton Oliveira Dourado
Faculdades Integradas de Aracruz
Orientador

Prof. Esp. Evandro José Pinto de Abreu
Faculdades Integradas de Aracruz
Examinador interno

RESUMO

O presente trabalho teve por finalidade estudar a resistência à compressão dos pavers produzidos com rejeitos gerados no beneficiamento de rochas ornamentais. Foram elaborados diversos traços com diferentes porcentagens sendo substituído parte do pó de pedra por lama abrasiva. Foram produzidos 120 pavers, sendo 60 utilizados para ensaios de absorção da água e a outra metade para ensaios de resistência à compressão. O índice de absorção da água obteve um valor médio de 7,38%, sendo maior que o valor mínimo exigido pela norma NBR 9781:2013 (ABNT, 2013). Os estudos mostraram que a adição da lama abrasiva na confecção dos blocos apresentou um resultado satisfatório, aumentando a resistência à compressão, os traços Padrão, 1 e enquadraram-se nas Normas Australiana e Africana, já o Traço 3 e o Traço 4 alcançaram além das Normas Australiana e Africana também a Norma Brasileira, que exige no mínimo 35MPa para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Comparação estrutural dos tipos de pavimentos 15
Figura 2 – Estrutura do pavimento flexível 16
Figura 3 – Funcionalidade do Intertravamento 17
Figura 4 – Exemplos de peças de concreto do tipo I..... 18
Figura 5 – Exemplos de peças de concreto do tipo II..... 18
Figura 6 – Exemplos de peças de concreto do tipo III..... 19
Figura 7 – Exemplos de peças de concreto do tipo IV 20
Figura 8 – Chanfro de uma peça de concreto 21
Figura 9 – Corte de rocha ornamental através de fios diamantados 25
Figura 10 – Tanques para o processo de decantação da água..... 26
Figura 11 – Filtro de Prensa 26
Figura 12 – Lama abrasiva gerada na empresa de granitos 27
Figura 13 – Dispositivo para ensaio de resistência à abrasão 31
Figura 14 – Homogeneização do agregado miúdo (Areia) 36
Figura 15 – Quarteamento do agregado miúdo (Areia) 37
Figura 16 – Pesagem da amostra de agregado miúdo após quarteamento.... 37
Figura 17 – Agregado miúdo dentro da estufa (105ºC±5ºC) 38
Figura 18 – Pavers desenvolvido com dimensões (10 cm x 20 cm x 6 cm) 43
Figura 19 – Formas plásticas usadas na fabricação dos pavers..... 44
Figura 20 – Corpos de provas imergidos em água com temperatura de (23 ± 5) °C, por 24 h 46
Figura 21 – Drenagem dos blocos..... 46
Figura 22 – Retirada da água superficial dos corpos de prova com um pano úmido 47
Figura 23 – Blocos dentro estufa com temperatura a (110 ± 5) °C..... 48
Figura 24 – Pesagem do corpo de prova na condição seco em estufa 49
Figura 25 – Máquina usada nos ensaios de compressão 50
Figura 26 – Placas auxiliares utilizadas o ensaio de compressão..... 51
Figura 27 – Curva Granulométrica do Agregado Miúdo Areia - Zona Utilizável 54

Figura 28 – Curva Granulométrica do Agregado miúdo Pó de Pedra - Zona Utilizável 55
Figura 29 – Curva Granulométrica do Agregado miúdo Lama Abrasiva - Zona Utilizável 56
Figura 30 – Determinação da Composição Granulométrica- Agregado Graúdo Brita 57
Figura 31 – Índice de absorção da água - Traço Padrão 58
Figura 32 – Índice de absorção da água – Traço 1 (5% de lama abrasiva) 58
Figura 33 – Índice de absorção da água – Traço 2 (10% de lama abrasiva) .. 59
Figura 34 – Índice de absorção da água – Traço 3 (15% de lama abrasiva) .. 60
Figura 35 – Índice de absorção da água – Traço 4 (20% de lama abrasiva) .. 60
Figura 36 – Resistência à compressão simples dos pavers ensaiados aos 7 dias 63
Figura 37 – Resistência à compressão simples dos pavers ensaiados aos 14 dias 64
Figura 38 – Resistência à compressão simples dos pavers ensaiados aos 28 dias 65
Figura 39 – Comparação entre os resultados de Compressão simples aos 7 e aos 28 dias – efeito do tempo de cura 67

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Tolerância dimensionais das peças de concreto..... 21
Tabela 2 – Composição química média da lama abrasiva no desdobramento de granito em teares no Estado do Espírito Santo 22
Tabela 3 – Gastos gerados na Empresa de Granitos com o descarte correto da Lama Abrasiva 28
Tabela 4 – Resistência característica à compressão 29
Tabela 5 – Critérios para resistência à abrasão..... 32
Tabela 6 – Determinação da umidade da Areia 38
Tabela 7 – Determinação da composição granulométrica - Agregado miúdo areia 39
Tabela 8 – Determinação da composição granulométrica - Agregado miúdo pó de pedra 42
Tabela 9 – Determinação da composição granulométrica - Agregado miúdo lama abrasiva 42
Tabela 10 – Determinação da Composição Granulométrica- Agregado Graúdo Brita 42
Tabela 11 – Fator multiplicativo p 50
Tabela 12 – Classificação da areia 53
Tabela 13 – Classificação do pó de pedra 54
Tabela 14 – Classificação da areia 55
Tabela 15 – Classificação do pedrisco 56
Tabela 16 – Comparação do valor médio de Absorção da Água com o recomendado pela NBR 9781:2013 (ABNT, 2013) 61
Tabela 17 – Valores de resistência à compressão simples dos pavers ensaiados aos 7 dias..... 62
Tabela 18 – Valores de resistência à compressão simples dos pavers ensaiados aos 14 dias..... 63
Tabela 19 – Valores de resistência à compressão simples dos pavers ensaiados aos 28 dias..... 65
Tabela 20 – Comparação entre os resultados de Compressão simples aos 7 e aos 28 dias – efeito do tempo de cura 66

Tabela 21 – Especificações da norma para avaliação mecânica de paver..... 68
Tabela 22 – Comparação dos resultados de ensaio de Resistência à Compressão aos 28 dias com as Normas..... 68

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 11

1.1 OBJETIVOS 12

1.1.1 Objetivos Geral 12

1.1.2 Objetivos Específicos 13

1.2 JUSTIFICATIVA 13

2. REFERÊNCIAL TEÓRICO 14

2.1 PAVIMENTAÇÃO 14

2.2 PAVIMENTAÇÃO INTERTRAVADA 15

2.3 BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO 17

2.3.1 Tipos de Blocos Intertravados de concreto 18

2.3.2 Dimensões e tolerâncias 20

2.3.3 Chanfro 21

2.4 LAMA ABRASIVA 22

2.4.1 Composição química média de lama abrasiva no Espírito Santo 22

2.4.2 Preocupação das indústrias com o descarte do material produzido no desdobramento de rochas ornamentais 23

2.4.3 Tipos de processos de desdobramento dos blocos 24

2.4.4 Processo da produção da Lama Abrasiva em uma empresa regional 24

2.4.5 Gastos gerados em uma empresa regional com o descarte correto do resíduo abrasivo 27

2.5 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO 28

2.6 ABSORÇÃO DA ÁGUA 29

2.7 RESISTÊNCIA À ABRASÃO 30

2.8 REQUISITOS TÉCNICOS INTERNACIONAIS 32

2.8.1 Norma Australiana 32

2.8.2 Norma Africana 32
2.8.3 Normas Americana e Canadense 33
3. METODOLOGIA 34
3.1 MATERIAIS 34
3.1.1 Cimento 34
3.1.2 Agregados naturais (brita, areia e pó de pedra) 35
3.1.3 Agregado resíduo abrasivo 35
3.1.4 Caracterização dos materiais 35
3.2 PRODUÇÃO DAS PEÇAS 42
3.2.1 Peças de concreto (Pavers) 42
3.2.2 Dimensão dos pavers 43
3.2.3 Moldagem e cura dos pavers 43
3.2.4 Composições estudadas para produção dos pavers 44
3.3 ÍNDICE DE ABSORÇÃO DA ÁGUA 45
3.3.1 Equipamentos 45
3.3.2 Preparação do corpo de prova 45
3.3.3 Procedimento 45
3.3.4 Absorção de água 49
3.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO 49
3.4.1 Equipamentos 49
3.4.2 Determinação da resistência característica à compressão (fpk) 51
4. RESULTADO E DISCUSSÕES 53
4.1 RESULTADOS DAS CARACTERIZAÇÕES DOS MATERIAS 53
4.1.1 Resultados da caracterização do material agregado miúdo areia 53
4.1.2 Resultados da caracterização do material agregado miúdo pó de pedra 54

4.1.3 Resultados da caracterização do material agregado miúdo lama abrasiva 55

4.1.4 Resultados da caracterização do material agregado graúdo pedrisco 56

4.2 RESULTADOS DOS ÍNDICES DE ABSORÇÃO DA ÁGUA..... 57

4.2.1 Comparação do valor médio de Absorção da Água com a NBR 9781:2013..... 61

4.3 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO 62

4.3.1 Resultados dos ensaios de Compressão simples aos 7 dias 62

4.3.2 Resultados dos ensaios de Compressão simples aos 14 dias 63

4.3.3 Resultados dos ensaios de Compressão simples aos 28 dias 64

4.3.4 Comparação entre os resultados de Compressão simples aos 7 e aos 28 dias – efeito do tempo de cura..... 66

4.3.5 Comparação dos resultados de Resistência a Compressão com às especificações das normas..... 67

5. CONCLUSÃO 69

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 71

7. REFERÊNCIAS..... 72

1. INTRODUÇÃO

A pavimentação intertravada ocorre quando os blocos de concreto são encaixados entre si no pavimento, distribuindo as tensões e os carregamentos entre as peças, em um comportamento solidário (AGUILAR, 2016).

Nos dias de hoje, o uso de blocos intertravados de concreto para pavimentação vem aumentando, sendo utilizados essencialmente em praças, ruas, parques, pátios e calçadas. Na cidade de Blumenau, Santa Catarina, há um exemplo claro em algumas obras realizadas no município, como é o caso da rua 15 de novembro, a qual foi totalmente revitalizada (ABCP, 2012). O avanço da utilização de pavers intertravados é devido às suas características, entre elas estão a excelente resistência, durabilidade, facilidade de execução, baixo custo de manutenção, reutilização das peças e capacidade de drenagem. Após a execução da pavimentação a liberação do tráfego de pessoas e veículos é imediata, pois não há necessidade de aguardar o tempo de cura; a mão de obra não precisa ser especializada, devido a facilidade de assentamento das peças, além de possuir uma diversidade de cores e formatos.

A estrutura do pavimento vai depender da intensidade do tráfego sobre o pavimento e das características do solo que compõe o subleito. (WIEBBELLING, 2015). Essas estruturas podem ser constituídas pelas seguintes camadas: subleito, sub-base, base, camada de assentamento e camada de rolamento.

Diferentes tipos de materiais podem ser usados e reaproveitados para a produção dos pavers, como resíduos de pneus e resíduos de construção civil/demolição entre outros. Estudos realizados por Lima (2010) e Li et al. (2013) com o intuito de aproveitamento da lama abrasiva como insumo na fabricação de novos produtos, observou que a incorporação deste rejeito na produção de cimento é uma opção viável, uma vez que o resíduo apresenta na composição a maioria dos constituintes químicos do cimento, mas em proporções distintas.

A lama abrasiva é o resíduo gerado pelo beneficiamento de rochas ornamentais nos processos de corte e polimento. Este material apesar de não conter um componente perigoso em sua composição, o descarte incorreto do material pode gerar vários riscos para o meio ambiente. Isso porque, quando despejada diretamente em um recurso

hídrico, poderá ocasionar seu assoreamento e turbidez que afetam diretamente a biota local, além de contaminar o lençol freático, contaminar o solo, poluir a atmosférica, desfigurar a paisagem e causar danos à saúde.

Conforme levantamento obtidos da literatura de Lorenzoni (2005), dados de Buzzi et al. (2006) e de Manhães e Holanda (2008), analisa-se que 6 de 12 ou 50% das amostras de Lama do Beneficiamento de Rochas Ornamentais foram classificadas como Classe IIB - inerte e 50%, como Classe IIA - não-inerte para os parâmetros Al, F-, Pb, H, Cl-, Cr, Fe, Mn. Essa classificação permite que as amostras de Lama do Beneficiamento de Rochas Ornamentais sejam consideradas resíduos Classe IIB ou Classe IIA de acordo com a resolução N° 452/2012 para as definições contidas no Art. 2°. É um resultado insuficiente para servir de referência para a elaboração de um plano de gerenciamento por parte das empresas e fiscalização por parte dos órgãos de controle ambiental.

Visando isto, a confecção dos pavers intertravados de concreto com aplicação da lama abrasiva tem como intuito a utilização desse resíduo com a finalidade de diminuir os custos dos blocos e sobretudo destaca-se a alternativa de reutilização desse material de forma verde contrapondo-se seu descarte sem qualquer benefício ao meio ou ao homem.

Os blocos devem atender a NBR 9781:2013 (ABNT, 2013), que tem por objetivo fixar os requisitos exigíveis para confecção de blocos, cumprindo os valores devidos para os ensaios de compressão.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivos Geral

O objetivo geral consiste em analisar o desempenho do pavers intertravados, elaborado com lama abrasiva no ensaio de resistência à compressão.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar os materiais utilizados na confecção do bloco;
- Fabricar blocos com dosagens diferentes de lama abrasiva;
- Determinar o índice de absorção da água;
- Determinar a resistência característica à compressão dos pavers;

1.2 JUSTIFICATIVA

A produção de pavers utilizando em sua composição a lama abrasiva é uma maneira encontrada para a reutilização deste material, que precisa ser descartado de forma correta afim de que não ocorra danos ao meio ambiente. A lama abrasiva gerada com o lançamento de água para a minimização do pó de pedra que surge com a serragem dos blocos de granito é levada para tanques, onde recebe a adição de produtos químicos a fim de sofrer floculação e decantação. Este processo possibilita o reaproveitamento da água, mas gera um resíduo que não pode ser descartado diretamente no solo, pois ocasionaria a poluição dos aquíferos superficiais e dos lençóis freáticos. Além disso, o descarte inadequado pode gerar multas às empresas de granito.

2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 PAVIMENTAÇÃO

O pavimento, por injunções de ordem técnico-econômicas é uma estrutura de camadas em que materiais de diferentes resistências e deformabilidades são colocadas em contato resultando um elevado grau de complexidade no que respeita ao cálculo de tensões e deformações, e atuantes nas mesmas resultantes das cargas impostas pelo tráfego (DNIT, 2006).

Segundo DER (2006), a estrutura é constituída por diversas camadas superpostas, de materiais diferentes, construída sobre o subleito, destinada a resistir e distribuir ao subleito simultaneamente esforços horizontais e verticais, bem como melhorar as condições de segurança e conforto ao usuário.

2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS PAVIMENTOS

De acordo com o DNIT (2006), os pavimentos são classificados em três tipos, sendo eles flexíveis, semirrígidos e rígidos.

2.2.1 Pavimento Flexível

Conforme o DER (2006), o pavimento flexível é constituído por revestimento asfáltico sobre camada de base granular ou sobre camada de base de solo estabilizado granulometricamente. Os esforços provenientes do tráfego são absorvidos pelas diversas camadas constituintes da estrutura do pavimento flexível.

2.2.2 Pavimento Semirrígido

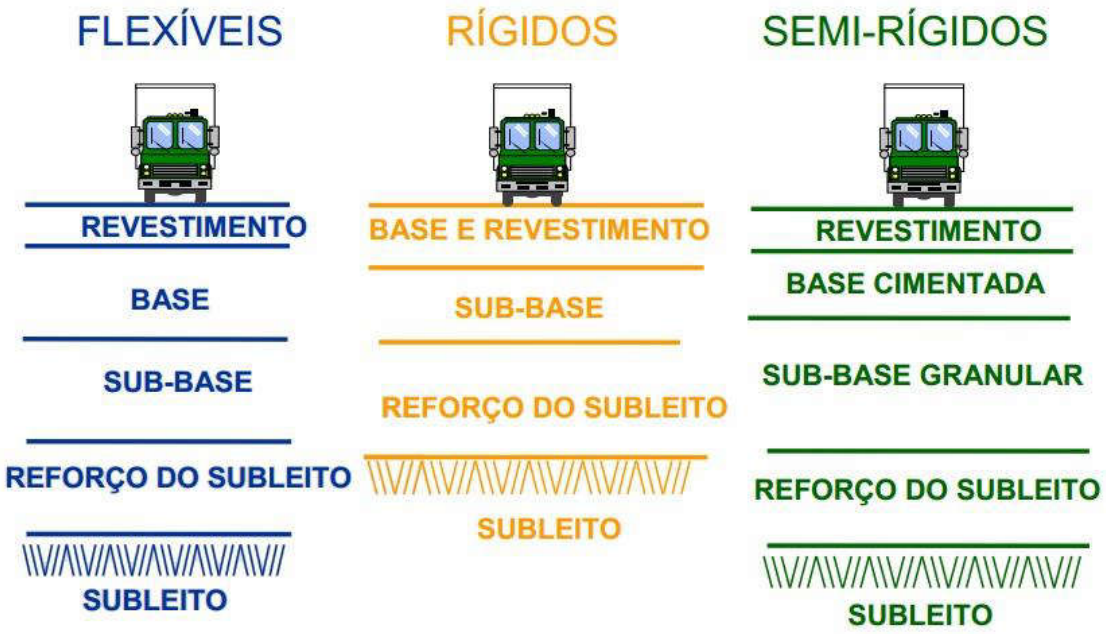
A pavimentação semirrígida caracteriza-se por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias como por exemplo, por uma camada de solo

cimento revestida por uma camada asfáltica (DNIT, 2006). A pavimentação intertravada que é o tema retratado nesse trabalho se classifica dentro dos pavimentos semirrígidos e será abordada mais a fundo no item 2.2.

2.2.3 Pavimento Rígido

O DER (2006) afirma que o pavimento rígido é constituído por placas de concreto de cimento Portland assentes sobre camada de sub-base granular ou cimentada. Quando a sub-base for cimentada pode, adicionalmente, haver uma camada inferior de material granular. Os esforços provenientes do tráfego são absorvidos principalmente pelas placas de concreto de cimento Portland, resultando em pressões verticais bem distribuídas e aliviadas sobre a camada de sub-base ou sobre a camada de fundação (Figura 1).

Figura 1 – Comparação estrutural dos tipos de pavimentos.



Fonte: Adaptado de Adada (2008).

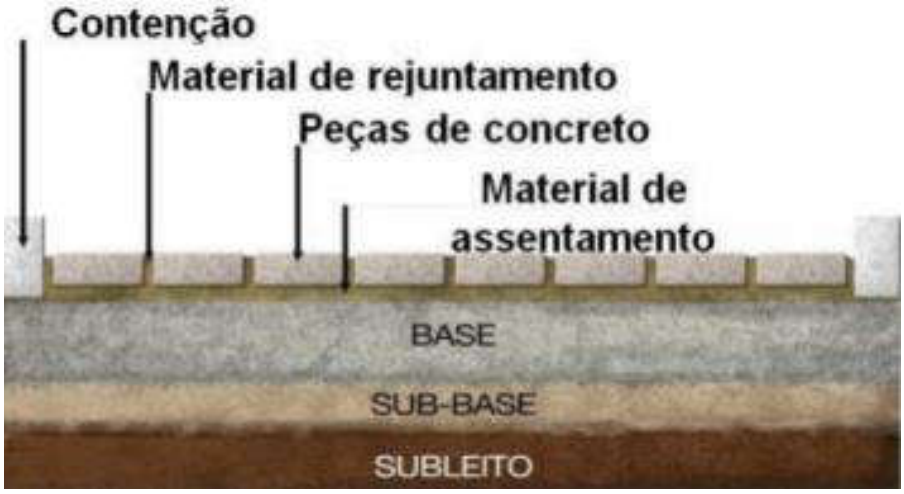
2.3 PAVIMENTAÇÃO INTERTRAVADA

De acordo com a NBR 7207:1982 (ABNT, 1982), pavimento é a estrutura construída sobre a terraplanagem e destinada, econômica, técnica e simultaneamente a suportar e distribuir os esforços verticais provenientes do tráfego, melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto e segurança, resistir ao desgaste. A estrutura do pavimento que se constrói pode variar quanto a espessura, aos materiais utilizados e também com a própria função que a via poderá exerce.

O pavimento é composto por camadas sobrepostas de diferentes materiais compactados a partir do subleito, adequada para atender estruturalmente e operacionalmente o tráfego, de forma durável e ao mínimo custo possível, considerando o serviço de manutenção e reabilitação obrigatórias (BALBO, 2007).

A estrutura do pavimento intertravado é caracterizada pelo revestimento em blocos, com alta durabilidade e resistência, assentados sobre uma camada de areia, a base, a sub-base e o subleito. A figura 2 mostra uma seção transversal característica da estrutura de uma pavimentação.

Figura 2 – Estrutura do pavimento flexível.



Fonte: ABCP (2010)

Intertravamento é a capacidade que os blocos adquirem de resistir a movimentos de deslocamento individual, seja ele vertical, horizontal ou de rotação em relação a seus vizinhos (Figura 3). Ele é fundamental para o desempenho e a durabilidade do

pavimento. Duas condições são necessárias e indispensáveis para que consiga o intertravamento, sendo elas: contenção lateral e junta preenchida com areia (ABCP, 2010).

Figura 3 – Funcionalidade do Intertravamento.

Fonte: ABCP, 2010.

2.4 BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO

Conforme Amadei (2011) os blocos têm conquistado espaço no mercado gradativamente, devido às muitas vantagens que esse produto oferece, destacando a facilidade de assentamento, a liberação para o tráfego rapidamente, a acessibilidade às redes subterrâneas e a praticidade na manutenção. Ainda deve ser salientada a permeabilidade que esse pavimento proporciona, auxiliando na drenagem urbana.

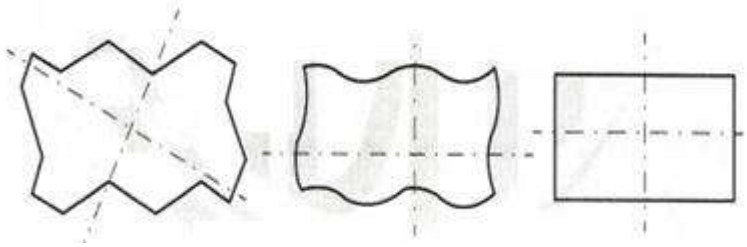
Ferreira (2011), listou diversas características que torna o uso de blocos de concreto intertravados uma alternativa interessante, como possuir alta durabilidade, superfície regular e antiderrapante, proporcionando conforto ao usuário; menor consumo de iluminação pública devido à sua coloração mais clara; menor absorção de energia, minimizando o efeito de ilha de calor. Além de a instalação ser fácil, as peças são reaproveitadas em caso de necessidade de manutenção ou intervenção de concessionárias de energia, gás, telefonia, entre outros. O mesmo autor ainda cita que quando necessário, o pavimento intertravado também pode ser projetado para ser permeável, colaborando para que a água superficial retorne ao lençol freático. Para essa função é necessário um projeto específico das camadas de base, que devem ter porosidade em torno de 30%.

2.4.1 Tipos de Blocos Intertravados de concreto

Os pavers de concreto podem ser fabricados de vários formatos e cores, é essencial que o bloco quando assentado proporcione uma boa distribuição de cargas em sua combinação. A NBR 9781:2013 ABNT (2013) agrupa esses blocos em quatro tipos diferentes, a saber:

Tipo I - Pavers semelhante ao formato retangular, sua relação de comprimento/largura seja igual a dois, que seus quatro lados se encaixem podendo ser assentadas em fileiras ou em espinha de peixe (FIGURA 4).

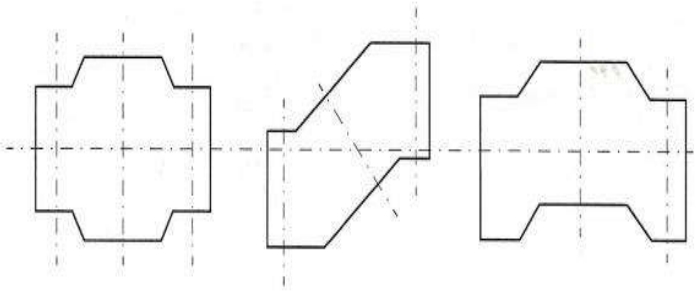
Figura 4 – Exemplos de peças de concreto do tipo I.



Fonte: NBR 9781:2013 (ABNT, 2013).

Tipo II - Paver de formato único, diferente do formato Tipo I e que só podem ser assentadas em fileiras (FIGURA 5).

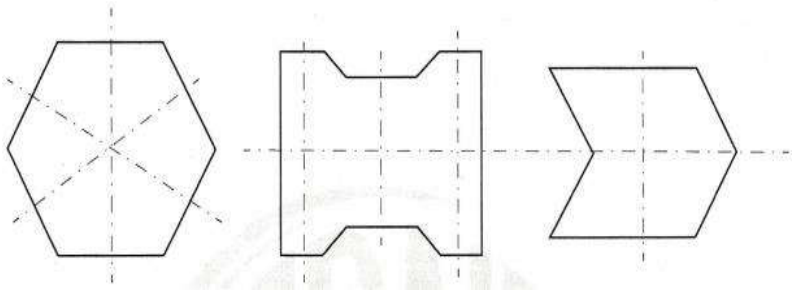
Figura 5 – Exemplos de peças de concreto do tipo II.



Fonte: NBR 9781:2013 (ABNT, 2013).

Tipo III - Paver de peso superior a 4kg de formatos geométricos específicos, como trapézios, hexágonos, triedros etc. (FIGURA 6).

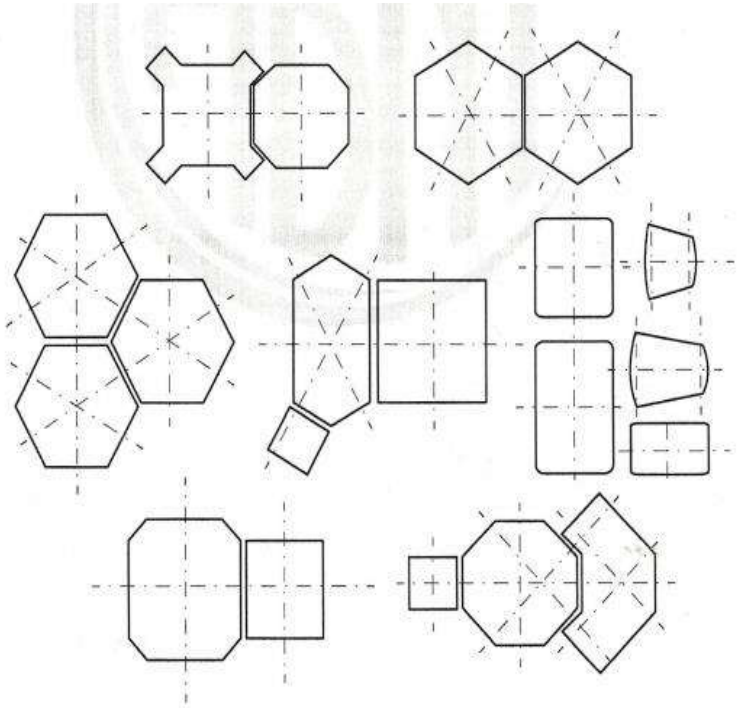
Figura 6 – Exemplos de peças de concreto do tipo III.



Fonte: NBR 9781:2013 (ABNT, 2013).

Tipo IV - Pavers de diferentes tamanhos que possam se agrupar, e uma única peça com juntas falsas, que em sua montagem empregue um ou mais padrões de assentamento (FIGURA 7).

Figura 7 – Exemplos de peças de concreto do tipo IV.



Fonte: NBR 9781:2013 (ABNT, 2013).

2.4.2 Dimensões e tolerâncias

A NBR 9781:2013 ABNT (2013) específica que as dimensões e tolerâncias das peças de concreto devem atender aos seguintes requisitos:

- Medida nominal do comprimento de no máximo 250 mm;
- Medida real da largura de no mínimo 97 mm na área da peça destinada à aplicação de carga no ensaio de resistência à compressão, conforme especificado no Anexo A da norma;
- Medida nominal da espessura de no mínimo 60 mm, especificada em múltiplos de 20 mm;
- Tolerâncias dimensionais conforme especificado na Tabela 1;
- O índice de forma (IF) para peças de concreto utilizadas em vias com tráfego de veículos ou áreas de armazenamento deve ser menor ou igual a 4.

Tabela 1 – Tolerância dimensionais das peças de concreto.

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

Fonte: NBR 9781:2013 (ABNT, 2013).

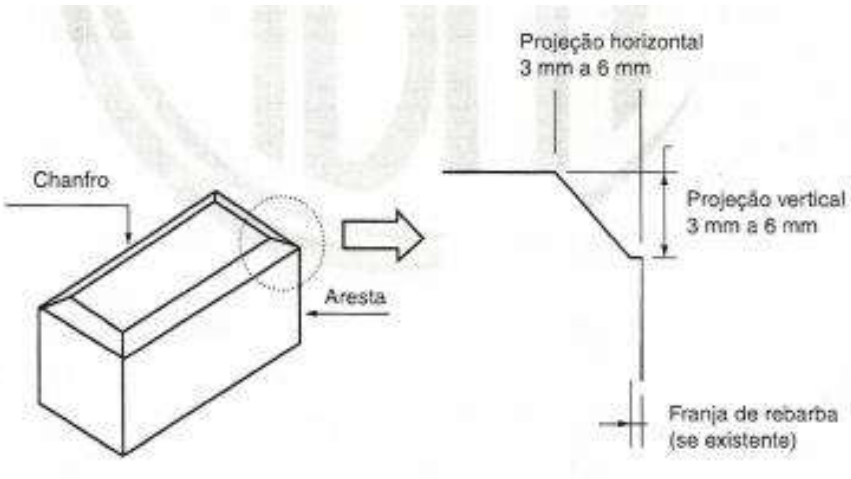
O índice de forma é a relação entre o comprimento e a espessura da peça de concreto.

2.4.3 Chanfro

A norma NBR 9781:2013 (ABNT, 2013) especifica que o chanfro nas peças de concreto depende de aspectos construtivos, da capacidade estrutural e do conforto de rolamento, podendo ser utilizadas peças sem chanfros nos casos específicos.

O chanfro da peça de concreto pode ser reto ou baleado, nas peças de concreto chanfradas, ele deve apresentar, tanto na projeção horizontal como na projeção vertical, no mínimo 3 mm e no máximo 6 mm, conforme Figura 8.

Figura 8 – Chanfro de uma peça de concreto.



Fonte: NBR 9781:2013 (ABNT, 2013).

2.5 LAMA ABRASIVA

A lama abrasiva, também chamada de lama da serragem possui característica granulométrica de 18,57% de material retido na peneira n° 30 (0,6 mm) e 51,48% na de 0,075 mm (n° 200) (COELHO et al.,2007). De acordo com Leite (2006), a composição da lama é feita a partir da junção de alguns componentes, sendo eles: cal, água, pó de pedra, aço/lâmina resultante da granalha, sendo cada um responsável por uma função específica. Assim, sua variação ocorre apenas quando a qualidade ou tipo de componente é trocado.

Além desses compostos, pode-se destacar o pH básico variando entre 9 a 12, bem como a variação da coloração, indicando a presença de ferro, silício e cálcio em maior proporção quando esta for branca; a predominância de cal associada a restos de rocha para coloração cinza claro; e, finalmente, a presença de fragmentos de rochas graníticas somados a altas quantidades de silício para uma coloração cinza escuro (SILVA, 1998 apud BRANDÃO; RIBEIRO, 2007).

2.5.1 Composição química média de lama abrasiva no Espírito Santo

A Tabela 2 mostra a composição química média de lama abrasiva no desdobramento de teares no Estado do Espírito Santo (LEITE, 2006).

Tabela 2 – Composição química média da lama abrasiva no desdobramento de granito em teares no Estado do Espírito Santo.

	Cal	**Água**	**Granalha**	**Pó de Pedra**
Porcentagem em peso (%):	1,2	33,4	20,1	45,3
Porcentagem em volume (%):	1,2	66,0	4,2	28,6

Fonte: Leite (2006).

2.5.2 Preocupação das indústrias com o descarte do material produzido no desdobramento de rochas ornamentais

De acordo com Aguiar et. al. (2018) o sistema de serragem de blocos de granito para a produção de chapas gera uma significativa quantidade de rejeitos na forma de lama, isto é, de 20% a 25% dos blocos. Esse rejeito é constituído de água, granalha, cal e de rocha moída.

Este resíduo pode ser utilizado em outras atividades, como tijolos, cobogós, blocos estrutural, concreto asfáltico, telhas e pavers que é a proposta do presente trabalho, como forma de aproveitamento deste tipo de rejeito industrial e a redução do impacto ambiental (SOUZA ET. AL., 2003; MOTA ET. AL., 2010; MOURA ET. AL., 2011; BARBOSA ET. AL., 2013; AGUIAR ET. AL., 2018; BACHETI ET. AL., 2018).

Nos termos da Lei 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, os rejeitos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada, sendo a distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

Segundo Pontes et. al. (2005) os órgãos de fiscalização agem, aplicando multas e restringindo, ou paralisando as atividades das serrarias, atividades estas muito importantes para a economia da região.

Devido à alta demanda de lama abrasiva, as grandes indústrias de beneficiamento de rochas ornamentais estão hoje enfrentando dificuldades no gerenciamento desses rejeitos, com isso as organizações ambientais têm tomado à frente neste problema aumentando a fiscalização e cobrando por iniciativas e investimentos em pesquisas no direcionamento para reciclagem dos resíduos (SANTIAGO et. al., 2012).

Os resíduos industriais gerados no corte do granito, são geralmente depositados em barragens de rejeito improvisadas ou vão sendo acumulados ao redor dessas serrarias ao longo do tempo (PONTES et. al., 2005). Por consequência, gera a

contaminação direta dos aquíferos superficiais e também descaracterizam a paisagem (SILVA, 2013).

2.5.3 Tipos de processos de desdobramento dos blocos

De acordo com Filho et. al. (2005), é possível encontrar os seguintes tipos de rejeitos oriundos do processo de desdobramento dos blocos:

- Nas pedreiras: produzem-se pedaços amorfos de rochas sem utilização nos equipamentos de desdobramento; fragmentos de cabo de aço; rejeito fino (pó) oriundo das perfurações das rochas e restos de madeira proveniente de escoramentos utilizados no processo extrativo.
- Nas Serrarias: laterais dos blocos (casqueiros), oriundos do desdobramento em chapas; Pedaços de chapas brutas em tamanhos pequenos que impossibilitam seus aproveitamentos comerciais, provenientes de quebras e defeitos; Lama abrasiva produzida no processo de corte dos teares (granalha, cal e rocha moída); Madeira de vários tamanhos; Sucatas de lâminas de aço; Sacos de papelão.
- No tratamento: (Polimento, resinagem, etc.) pedaços de chapas polidas em tamanhos pequenos com valor comercial não condizente com a escala comercial da indústria; Lama produzida no processo de polimento das chapas; Suportes plásticos dos abrasivos; Caixas de papelão; Plásticos de embalagens; Pedaços de madeira diversos.
- No corte: almas de aço dos discos diamantados; Lama produzida no processo de corte; Discos de desbaste; Rebolos; Corpos de brocas; Pedaços de chapas polidas em tamanhos pequenos com valor comercial baixo; Pedaços de madeira.

2.5.4 Processo da produção da Lama Abrasiva em uma empresa regional

Situada em Ibiraçu-ES, uma empresa de granitos, realiza o trabalho de corte em blocos de rochas ornamentais, que passa por um processo meticuloso onde a

utilização de água é fundamental para o de resfriamento dos fios diamantados durante a serragem dos blocos, aumentando sua vida útil e assim também contribui com a diminuição das partículas suspensas no ar, visando a saúde dos trabalhadores e a preservação do meio ambiente (FIGURA 9).

Figura 9 – Corte de rocha ornamental através de fios diamantados.

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Através da junção da água com o pó é formado a lama abrasiva, que é direcionada à tanques para a decantação da água, nestes são adicionados dois produtos químicos para a realização do processo, Polímero ZT e Granifloc A_2B (FIGURA 10).

Figura 10 – Tanques para o processo de decantação da água.

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

A água é reaproveitada no processo de desdobramento de rochas já a lama é direcionada à um silo para continuação da mistura da mesma, em seguida é encaminhada para o filtro de prensa com o intuito de extrair mais água do resíduo para o uso da empresa nos procedimentos (FIGURA 11).

Figura 11 – Filtro de Prensa.

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Posteriormente é lançada num campo abaixo do filtro, onde é recolhida com máquinas e levada a outro setor à espera do montante para o descarte correto do material (FIGURA 12).

Figura 12 – Lama abrasiva gerada na empresa de granitos.

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

2.5.5 Gastos gerados em uma empresa regional com o descarte correto do resíduo abrasivo

Após os órgãos ambientais trabalharem com mais eficácia na fiscalização e legislação do descarte correto do material abrasivo, as empresas que recebem a lama abrasiva com o intuito de reaproveitamento, começaram a cobrar para receber este material. No estado do Espírito-Santo as empresas que usam a lama para a produção de blocos cerâmicos, cobram em torno de R$ 2,00 por quilo.

A empresa de granitos situada em Ibiraçu-ES, fornecedora do material abrasivo para a confecção dos pavers deste trabalho, encaminha a lama para uma construtora localizada em Itabatã-BA, onde são fabricados blocos cerâmicos, essa empresa não cobra nenhum valor para receber este resíduo, sendo assim o único gasto gerado na empresa de granitos é com o frete para o deslocamento da lama (TABELA 3). A empresa deve apresentar anualmente uma declaração anual de resíduos Sólidos ao IEMA, informando que faz o descarte.

Tabela 3 – Gastos gerados na Empresa de Granitos com o descarte correto da Lama Abrasiva.

GASTOS COM O DESCARTE DA LAMA	
PERÍODO	**VALOR GASTO POR MÊS**
Junho/2018	R$ 6.800,00
Julho/2018	R$ 8.500,00
Agosto/2018	R$ 5.100,00
Setembro/2018	R$ 5.100,00
Outubro/2018	R$ 8.500,00
Novembro/2018	R$ 10.200,00
Dezembro/2018	R$ 5.100,00
Janeiro/2019	R$ 3.400,00
Fevereiro/2019	R$ 5.100,00
Março/2019	R$ 1.700,00
Abril/2019	R$ 5.100,00
Maio/2019	R$ 8.500,00
TOTAL NO PERÍODO DE UM ANO	**MÉDIA DOS GASTOS**
R$ 73.100,00	R$ 6.091,66

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

2.6 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Mehta e Monteiro (2014) afirma que, no concreto a resistência está associada a tensão máxima necessária para causar a ruptura. Mesmo sem sinais visíveis de fratura externa, um corpo de prova submetido a ensaio de compressão é considerado rompido quando não suportar uma carga maior devido ao estado avançado de fissuração interna atingido.

A resistência à compressão é alcançada dividindo-se a carga de ruptura, expressa em newtons (N), pela área de carregamento, expressa em milímetros quadrados (mm^2), multiplicando-se o resultado pelo fator p, função da altura da peça. Portanto, a resistência a compressão é determinada a partir ensaios com máquinas de testes de compressão.

Os pavers intertravados de concreto devem atender as especificações conforme orienta a NBR 9781:2013 (ABNT, 2013) na Tabela 4 a seguir:

Tabela 4 – Resistência característica à compressão.

Solicitações	**Resistência característica à compressão (f_{pk}) aos 28 dias MPa**
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha	≥ 35
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados	≥ 50

Fonte: NBR 9781:2013 (ABNT, 2013).

2.7 ABSORÇÃO DA ÁGUA

A absorção da 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 à sua massa em estado seco (NBR 9781:2013). Ela pode ser alcançada através da equação 1:

$$A = \frac{m2 - m1}{m1} \times 100$$ Equação 1

Onde,

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

m1 – é a massa do corpo de prova seco, expressa em gramas (g);

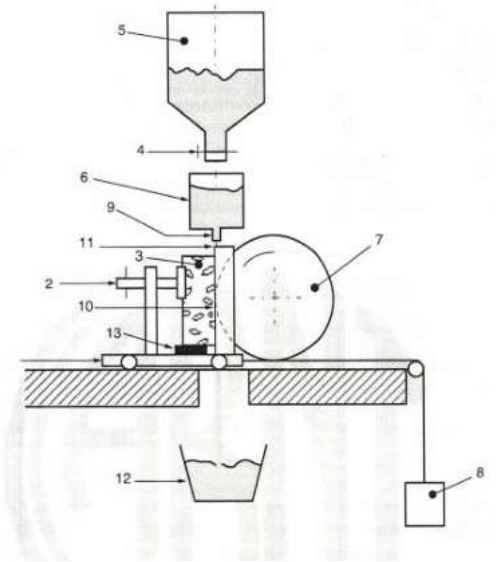
m2 – é a massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas (g).

A amostra de peças de concreto deve apresentar absorção de água com valor médio menor ou igual a 6%, não sendo admitido nenhum valor individual maior do que 7%.

2.8 RESISTÊNCIA À ABRASÃO

De acordo com a NBR 9781:2013 (ABNT, 2013), a determinação da resistência à abrasão da amostra é facultativa. Quando especificada, deve ser ensaiada conforme o anexo C, onde é indicado que o dispositivo de abrasão consiste em disco rotativo de aço com diâmetro de 200 mm e espessura de 70 mm, um funil de escoamento para alimentação de material abrasivo, um suporte para o corpo de prova, um contrapeso e uma caixa de armazenamento de material abrasivo usado, conforme indicado na Figura 13:

Figura 13 – Dispositivo para ensaio de resistência à abrasão.



Fonte: NBR 9781:2013 (ABNT, 2013).

Legenda:

1 Dispositivo móvel para empurrar a amostra

2 Dispositivo para fixação

3 Amostra

4 Válvula de controle

5 Reservatório de material abrasivo

6 Guia para fluxo de material abrasivo

7 Cilindro metálico para abrasão

8 Contrapeso

9 Saída do material abrasivo

10 Moldura

11 Fluxo de material abrasivo

12 Reservatório para coleta do material

13 Apoio para centralizar a amostra.

Ainda conforma a NBR 9781:2013, os ensaios devem atender as especificações apresentadas na Tabela 5 a seguir:

Tabela 5 – Critérios para resistência à abrasão.

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

Fonte: NBR 9781:2013 (ABNT, 2013).

2.9 REQUISITOS TÉCNICOS INTERNACIONAIS

2.9.1 Norma Australiana

De acordo com Bittencourt (2012), a norma Australiana AS/NZS 4456.4:2003 define que os valores mínimos exigidos para a resistência a compressão dos pavers são de 25 Mpa para veículos leves e de 60 Mpa para veículos especiais e para ciclovias e estacionamento os valores dão de 15 Mpa.

2.9.2 Norma Africana

A norma da África do Sul SANS 1058:2009 define que os valores mínimos exigidos para a resistência a compressão dos pavers são de 25 Mpa para veículos leves e de 35 Mpa para veículos pesados (BITTENCOURT, 2012).

2.9.3 Normas Americana e Canadense

Conforme Bittencourt (2012) os primeiros estudos sobre o pavers foram feitos pelo ICPI (Instituto de Pavimento de Peças Pré-Moldadas de Concreto), na década de 1990. A partir destes estudos foram criadas duas normas: a americana ASTMC936:1996: *Standard specification for solid concrete interlocking paving units*, e a canadense CSAA23.2-95:1995: *Precast concrete pavers*.

Os requisitos da norma americana para resistência à compressão é de ≥ 55 Mpa tanto para a média quanto para os valores individuais, já a norma canadense é de ≥ 50 Mpa para média e ≥ 45 para valores individuais dos pavers.

3. METODOLOGIA

Apresenta-se neste capítulo uma descrição dos materiais e dos métodos utilizados nesta pesquisa para se alcançar o objetivo proposto.

A metodologia utilizada no trabalho foi similar à de Bittencourt (2012) onde se realiza a substituição de algumas dosagens de materiais por outros. No desenvolvimento deste trabalho houve a colaboração da empresa de granitos situada em Ibiraçu-ES, no fornecimento da lama abrasiva.

As etapas seguidas para a realização do trabalho foram:

- Coleta do material abrasivo na empresa de granitos na região de Ibiraçu-ES;
- Caracterização dos materiais compostos no bloco;
- Determinação da umidade da areia para mudança de valores de quantidade de água utilizado no traço;
- Fabricação dos blocos com diferentes traços [Traço Padrão, Traço 1 (5% de lama em grama(g)), Traço 2 (10% de lama em grama (g)), Traço 3 (15% de lama em grama (g)) e Traço 4 (20% de lama em grama (g))];
- Realização dos ensaios de absorção da água;
- Realização dos ensaios de resistência à compressão;
- Coleta dos resultados dos ensaios para análise e discussão dos mesmos;

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Cimento

Neste trabalho foi utilizado um cimento do tipo Cimento Portland CP III (Cimento Portland de Alto Forno), pois este apresenta maior impermeabilidade e durabilidade, baixo calor de hidratação, alta resistência à expansão devido à reação álcali-agregado, além de ser resistente a sulfatos. É um cimento que pode ter aplicação geral em argamassas de assentamento, revestimento, argamassa armada, de concreto simples, armado, protendido, projetado, rolado, magro e outras. Comporta

adições de 35 a 70% de Escória e até 5% de material carbonático. É o cimento mais ecológico de todos os cimentos produzidos no Brasil (FERREIRA, 2003).

3.1.2 Agregados naturais (brita, areia e pó de pedra)

Os agregados pó de pedra e brita, foram fornecidos por uma empresa local. O pó de pedra é considerado agregado artificial, pois o material é obtido a partir de rochas compactas que ocorrem em jazidas, pelo processo industrial de fragmentação da rocha maciça, aplicada em lajes pré-moldadas, blocos, usinas de asfalto e de concreto. A Pedrisco utilizada tem classificação abaixo da Brita 0.

A areia é considerada um agregado natural, pois pode originar-se de rios, de cavas ou de praias e dunas. As areias das praias e dunas não são usadas, em geral, para o preparo de concreto por causa de sua grande finura e teor de cloreto de sódio.

3.1.3 Agregado resíduo abrasivo

A lama abrasiva foi fornecida pela empresa regional de granitos e apresenta pH básico 9, sua coloração cinza claro é devido a predominância de cal associada a restos de rocha.

O grau de permeabilidade hidráulica da lama abrasiva varia de médio a baixo. As características atribuídas ao solo da área em estudo, se comparado com a mesma tabela, podem ser: textura argilosa ou areia fina.

3.1.4 Caracterização dos materiais

3.1.4.1 Determinação da umidade dos agregados miúdo

3.1.4.1.1 Determinação da umidade da Areia

Primeiramente foi realizado o quarteamento manual da amostra, sendo colocado dois kg do agregado miúdo, úmido, sobre uma superfície rígida, limpa e plana, de forma que não houvesse nenhuma perda de material e nem haja contaminação. Posteriormente foi executado a homogeneização da amostra revolvendo-a no mínimo três vezes (FIGURA 14).

Figura 14 – Homogeneização do agregado miúdo (Areia).

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

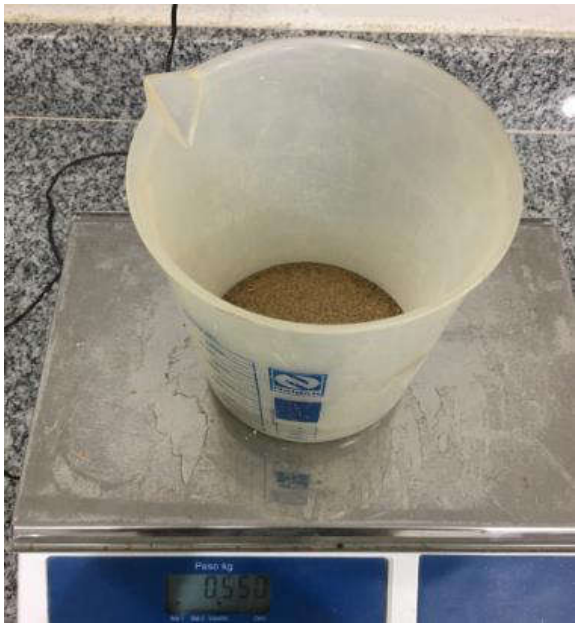
Em seguida foi executado o quarteamento do material e colocado num recipiente a parte. O processo de homogeneização da amostra foi executado duas vezes (FIGURA 15).

Figura 15 – Quarteamento do agregado miúdo (Areia).

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Seguidamente foi determinado a massa do material, através de balança (FIGURA 16), sendo obtido um valor de 550g.

Figura 16 – Pesagem da amostra de agregado miúdo após quarteamento.



Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Logo após foi colocado na estufa (105ºC±5ºC) durante 24 horas para a obtenção da massa seca (FIGURA 17).

Figura 17 – Agregado miúdo dentro da estufa (105ºC±5ºC).

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

A tabela 6 apresenta os valores obtidos através do ensaio.

Tabela 6 – Determinação da umidade da Areia

Massa úmida (g)	**Massa seca (g)**	**Umidade da areia (%)**
550	549,65	0,063

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

3.1.4.2 Determinação da Composição Granulométrica

A granulometria dos materiais que compõem os pavers foi obtida através de peneiramento mecânico obedecendo às normas NBR NM 248:2003 e NBR 7211:2005 (ABNT, 2003; ABNT, 2005).

3.1.4.2.1 Determinação da Composição Granulométrica – Agregado Miúdo Areia

A tabela 7 a seguir mostra os resultados de caracterização para o agregado miúdo areia.

Tabela 7 – Determinação da composição granulométrica - Agregado miúdo areia.

Peneiras (mm)	**Material Retido (g)**		**Porcentagens retidas, em massa**					
			Individuais (%)			**Acumuladas (%)**		
	M1	**M2**	**M1**	**M2**	**Média**	**M1**	**M2**	**Médias**
4,75	0	0	0	0	0	0	0	0
2,38	5,201	5,858	1,04	1,17	1,10	1,04	1,17	1,10
1,68	21,497	24,317	4,30	4,86	4,58	5,34	6,03	5,68
1,18	42,370	47,942	8,48	9,59	9,03	13,82	15,62	14,71
0,60	151,270	157,833	30,28	31,57	30,92	44,10	47,19	45,63
0,30	157,840	158,929	31,59	31,79	31,69	75,69	78,98	77,32
Fundo	121,370	104,955	24,29	20,99	22,64	99,98	99,97	99,98
Total	**499,548**	**499,884**	**99,98**	**99,97**	**99,96**			

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

3.1.4.2.2 Determinação da Composição Granulométrica – Agregado Miúdo Pó de Pedra

A tabela 8 mostra os resultados de caracterização para o agregado miúdo pó de pedra.

Tabela 8 – Determinação da composição granulométrica - Agregado miúdo pó de pedra

Peneiras (mm)	**Material Retido (g)**		**Porcentagens retidas, em massa**					
			Individuais (%)			**Acumuladas (%)**		
	M1	**M2**	**M1**	**M2**	**Média**	**M1**	**M2**	**Médias**
4,75	0	0	0	0	0	0	0	0
2,38	7,140	8,013	1,43	1,60	1,52	1,43	1,60	1,52
1,68	10,960	12,202	2,19	2,44	2,28	3,62	4,04	3,8
1,18	11,130	11,808	2,23	2,36	2,30	5,85	6,40	6,1
0,60	92,090	98,540	18,43	19,73	19,08	24,28	26,13	25,18
0,30	145,480	142,990	29,12	28,63	28,88	53,40	54,76	54,06
Fundo	232,820	225,960	46,60	45,24	45,92	100	100	99,98
Total	**499,620**	**499,513**	**100**	**100**	**99,98**			

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

3.1.4.2.3 Determinação da Composição Granulométrica – Agregado Miúdo Lama Abrasiva

A tabela 9 mostra os resultados de caracterização para o agregado miúdo lama abrasiva.

Tabela 9 – Determinação da composição granulométrica - Agregado miúdo lama abrasiva.

Peneiras (mm)	**Material Retido (g)**		**Porcentagens retidas, em massa**					
			Individuais (%)			**Acumuladas (%)**		
	M1	**M2**	**M1**	**M2**	**Média**	**M1**	**M2**	**Médias**
4,75	0	0	0	0	0	0	0	0
2,38	0	0	0	0	0	0	0	0
1,68	0,373	0,397	0,08	0,09	0,09	0,08	0,09	0.09
1,18	0,218	0,264	0,05	0,06	0,06	0,13	0,15	0,15
0,60	0,099	0,115	0,02	0,03	0,03	0,15	0,18	0,18
0,30	0,542	0,033	0,12	0,01	0,07	0,27	0,19	0,25
Fundo	448,735	449,12	99,73	99,82	99,78	100	100	100
Total	**449,967**	**449,929**	**100**	**100**	**100**			

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

3.1.4.2.4 Determinação da Composição Granulométrica – Agregado Graúdo Pedrisco

A tabela 10 mostra os resultados de caracterização para o agregado graúdo pedrisco.

Tabela 10 – Determinação da Composição Granulométrica- Agregado Graúdo Pedrisco.

Peneiras (mm)	**Material Retido (g)**		**Porcentagens retidas, em massa**					
			Individuais (%)			**Acumuladas (%)**		
	M1	**M2**	**M1**	**M2**	**Média**	**M1**	**M2**	**Médias**
9,5	0	0	0	0	0	0	0	0
4,75	343,60	352,35	17,19	17,63	17,41	17,19	17,63	17,41
2,38	1490,66	1483,88	74,60	74,25	74,43	91,79	91,88	91,84
1,68	144,61	144,24	7,24	7,22	7,23	99,03	99,10	99,06
1,18	14,81	14,04	0,74	0,70	0,72	99,77	99,80	99,78
Fundo	4,69	4,10	0,23	0,21	0,22	100	100	100
Total	**1998,37**	**1998,58**	**100**	**100**	**100**			

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

3.2 PRODUÇÃO DAS PEÇAS

3.2.1 Peças de concreto (Pavers)

Foram produzidos 120 blocos no laboratório de Materiais de Construção Civil da Faculdade Integradas de Aracruz (FAACZ). Metade dos blocos foi utilizada para cálculos de índice de absorção da água e a outra metade foi utilizada para ensaios de resistência característica à compressão. Os resultados destes ensaios são discutidos no Capítulo 4. Destaca-se que, para cada uma das condições analisadas neste estudo foram moldados 12 corpos de prova.

3.2.2 Dimensão dos pavers

Os pavers podem ser produzidos com 3 alturas (6, 8 e 10 cm) a depender do tráfego solicitante, podendo variar as demais dimensões e forma, conforme já discutido no Capítulo 2. Para desenvolvimento deste trabalho os pavers têm formato retangular e dimensões10 cm de largura por 20 cm de comprimento e 6 cm de altura, conforme a Figura 18 a seguir:

Figura 18 – Pavers desenvolvido com dimensões (10 cm x 20 cm x 6 cm).

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

3.2.3 Moldagem e cura dos pavers

Para moldagem dos pavers os materiais que compõem determinado traço são adicionados à betoneira e em seguida a massa foi inserida nas formas plásticas para a realização da vibração (FIGURA 19).

Figura 19 – Formas plásticas usadas na fabricação dos pavers.

Fonte: Elaborada pelo Autor.

A cura das peças foi realizada no próprio laboratório, onde passaram por um processo de cura úmida e inseridos do tanque de água por 24 horas.

3.2.4 Composições estudadas para produção dos pavers

Para o desenvolvimento deste trabalho adotou-se como método a substituição de determinadas quantidades do componente pó de pedra pela lama abrasiva, de um traço padrão estabelecido com o uso dos materiais naturais: **1 : 1,19 : 2,55 : 1,90**.

Dessa forma, a primeira etapa do trabalho foi à definição de um traço padrão para comparação dos resultados. A partir deste foi incorporado o material alternativo estudado (resíduo gerado no desdobramento de rochas ornamentais), em proporções medida em gramas (g) de 5%, 10% 15% 20%. Consequentemente foi possível a comparação entre os resultados de resistência à compressão do traço padrão com os traços obtidos com a substituição da lama.

3.3 ÍNDICE DE ABSORÇÃO DA ÁGUA

O índice de absorção da água foi obtido através de ensaios realizados conforme o Anexo B, especificado na NBR 9781:2013 (ABNT, 2013), onde o único material utilizado foi a água potável.

3.3.1 Equipamentos

Os equipamentos utilizados para o ensaio foram os seguintes:

- Estufa ventilada com temperatura de (110 ± 5) °C;
- Termômetro com resolução de 1°C;
- Tanque de água;
- Balança com resolução de 0,1 g;
- Escova com cerdas suaves;
- Tela metálica com suporte;
- Pano.

3.3.2 Preparação do corpo de prova

Neste processo foi removido todo o pó e partículas soltas dos corpos de prova, utilizando-se uma escova.

3.3.3 Procedimento

3.3.3.1 Saturação

Os 12 corpos de prova de cada traço foram imergidos em um tanque de água com temperatura de (23 ± 5) °C, por 24 h (FIGURA 20).

Figura 20 – Corpos de provas imergidos em água com temperatura de (23 ± 5) °C, por 24 h.

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Em seguida foram pesados cada corpo de prova na condição saturada com superfície seca, que foi alcançada drenando os blocos, sendo colocados sobre uma tela metálica por 1 minuto e removendo a água superficial visível com um pano úmido, como apresenta as Figuras 21 e 22.

Figura 21 – Drenagem dos blocos.

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Figura 22 – Retirada da água superficial dos corpos de prova com um pano úmido.

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

Posteriormente foi anotado o valor encontrado. O procedimento foi repetido a cada 2 horas, até que em duas determinações sucessivas não se registrasse para o corpo de prova diferença de massa superior a 0,5 % em relação ao valor anterior, anotando-se então a sua massa saturada m2.

3.3.3.2 Secagem

Os corpos de prova saturados foram levados à estufa com temperatura a (110 ± 5) °C, mantendo esta condição por 24 h (FIGURA 23).

Figura 23 – Blocos dentro estufa com temperatura a (110 ± 5) °C

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Em seguida foi pesado individualmente cada corpo de prova na condição seco em estufa e anotado o valor encontrado (FIGURA 24).

Figura 24 – Pesagem do corpo de prova na condição seco em estufa

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Assim como para a massa saturada o procedimento se repetiu a cada 2 horas, até que em duas determinações sucessivas não se registrasse para o corpo de prova diferença de massa superior a 0,5 % em relação ao valor anterior, anotando-se então a sua massa seca m1. Após a retirada do corpo de prova da estufa, a operação de pesagem e anotação do valor foi realizada no máximo em 10 min, logo após voltando com o bloco para a estufa.

3.3.4 Absorção de água

O valor da absorção de água de cada corpo de prova foi calculado utilizando a Equação 1, localizada no capítulo 2.

3.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO

3.4.1 Equipamentos

3.4.1.1 Máquina de ensaio de compressão

A Figura 25 mostra a prensa eletrohidráulica digital de referência 1.501.220 – 220v – 60Hz produzida pela empresa Solotest, a presa foi utilizada na realização dos ensaios de compressão. O equipamento possui capacidade máxima de 100 toneladas força, com motor de 3/4 HP – 560 W de potência, o pistão trabalha como dispositivo de ruptura com o curso máximo 30mm, suas dimensões são (L) 700 x (A) 870 x (P) 280mm.

Figura 25 – Máquina usada nos ensaios de compressão.

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

A resistência à compressão da peça, expressa em megapascals (MPa), é obtida multiplicando-se o valor da carga de ruptura, expressa tonelada força (tf), por 9,8, visto que 1tf equivale a 9,8kN. O valor encontrado é dividido pela área de carregamento, expressa em centímetros quadrados (cm^2); em seguida basta multiplicar-se o resultado por 10 para obter-se o valor em MPa. Posteriormente multiplica-se o resultado pelo fator *p*, função da altura da peça, conforme Tabela 11 a seguir:

Tabela 11 – Fator multiplicativo p.

Espessura nominal da peça (mm)	**p**
60	0,95

80	1,00
100	1,05

Fonte: NBR 9781:2013.

3.4.1.2 Placas auxiliares de ensaio

As placas auxiliares utilizadas foram retangulares e possuíam dimensões de (227,4 mm x 151,2 mm x 8,0 mm) para a placa acoplada do prato superior da máquina e (281,8 mm x 35,0 mm x 101,5 mm) para a placa acoplada no prato inferior (FIGURA 26).

Figura 26 – Placas auxiliares utilizadas o ensaio de compressão.

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

3.4.2 Determinação da resistência característica à compressão (fck)

As peças representativas do lote amostrado foram imergidas no tanque de água a (23 ± 5) °C, um dia antes do ensaio. As mesmas foram dispostas sobre as placas auxiliares de ensaio, com sua face superior em contato com a placa auxiliar superior, de modo que o eixo vertical que passa pelo seu centro coincida com o eixo vertical

passante pelo centro das placas, na região da peça que apresenta largura mínima de 97 mm.

4. RESULTADO E DISCUSSÕES

Neste capítulo será apresentado e discutidos os resultados das caracterizações dos materiais e dos ensaios que foram executados: absorção da água e resistência à compressão. Após a apresentação desses resultados ambos foram comparados com os parâmetros exigidos pela norma brasileira, com exceção para os dados obtidos para resistência à compressão, que foram também comparados com normas internacionais.

4.1 RESULTADOS DAS CARACTERIZAÇÕES DOS MATERIAS

4.1.1 Resultados da caracterização do material agregado miúdo areia

A Tabela 12 a seguir apresenta as características físicas do agregado miúdo areia e sua classificação. A areia possui módulo de finura de 2,22 e dimensão máxima de 2,38mm.

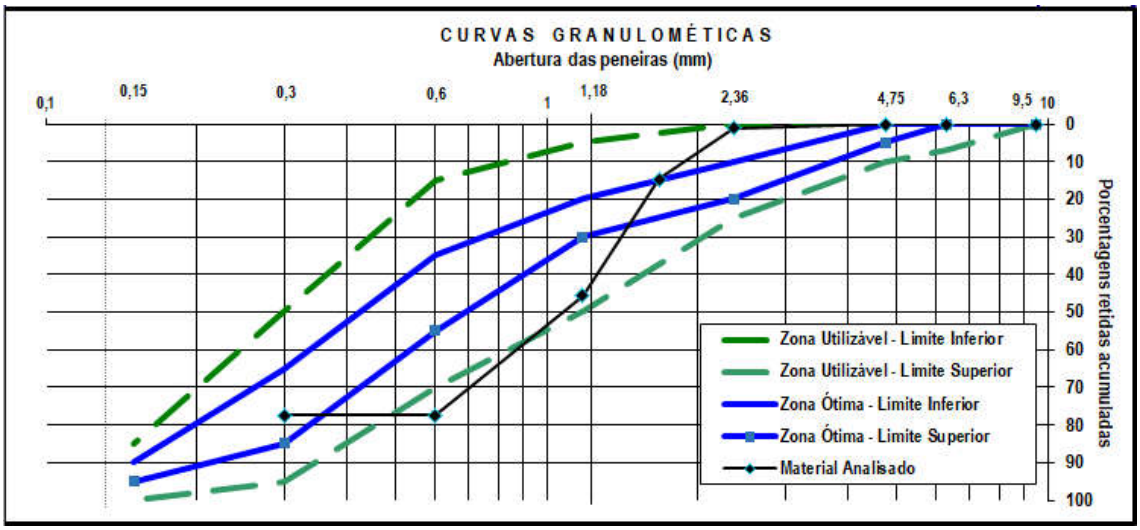
Tabela 12 – Classificação da areia.

Módulo de Finura (da Média)	2,22
Dimensão Máxima Característica	2,38mm
Classificação do Agregado (2005)	Zona Ótima Limites Superiores
Classificação do Agregado (1983)	Areia Média (Zona 3)

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

A Figura 27 a seguir representa a curva granulométrica do agregado miúdo areia, na qual classifica o agregado miúdo como limites da zona utilizável.

Figura 27 – Curva Granulométrica do Agregado Miúdo Areia - Zona Utilizável.



Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

4.1.2 Resultados da caracterização do material agregado miúdo pó de pedra

A Tabela 13 a seguir apresenta características físicas do pó de pedra e sua classificação. A tabela aponta como módulo de finura de 1,45 e dimensão máxima de 2,38mm.

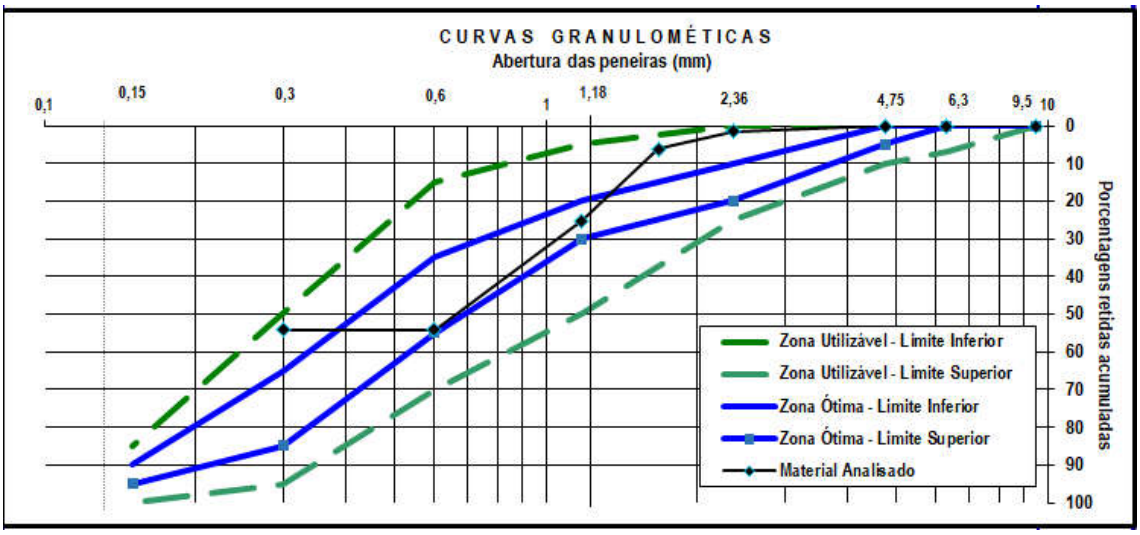
Tabela 13 – Classificação do pó de pedra.

Módulo de Finura (da Média)	1,45
Dimensão Máxima Característica	2,38mm
Classificação do Agregado (2005)	Zona Ótima Limites Inferiores
Classificação do Agregado (1983)	Pó de Pedra Muito Fina (Zona 1)

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

A Figura 28 a seguir representa a curva granulométrica do agregado miúdo pó de pedra, na qual classifica o agregado miúdo como zona ótima limites inferiores.

Figura 28 – Curva Granulométrica do Agregado miúdo Pó de Pedra - Zona Utilizável.



Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

4.1.3 Resultados da caracterização do material agregado miúdo lama abrasiva

A Tabela 14 a seguir apresenta características físicas da lama abrasiva e sua classificação. A lama abrasiva possui módulo de finura de 0,01 e dimensão máxima de 1,68mm.

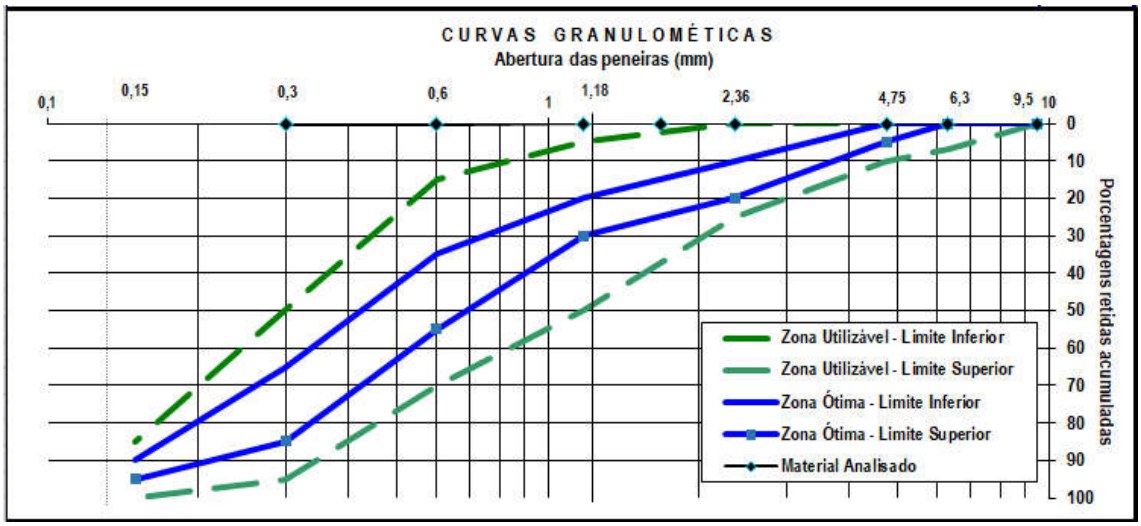
Tabela 14 – Classificação da areia.

Módulo de Finura (da Média)	0,01
Dimensão Máxima Característica	1,68mm
Classificação do Agregado (2005)	Abaixo da Classificação: Zona Utilizável Limites Inferiores
Classificação do Agregado (1983)	Abaixo da classificação: Muito Fina (Zona 1)

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

A Figura 29 a seguir representa a curva granulométrica do agregado miúdo lama abrasiva, na qual classifica o agregado miúdo abaixo da classificação da zona utilizável limites inferiores.

Figura 29 – Curva Granulométrica do Agregado miúdo Lama Abrasiva - Zona Utilizável.



Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

4.1.4 Resultados da caracterização do material agregado graúdo Pedrisco

A Tabela 15 a seguir apresenta características físicas do pedrisco e sua classificação. O pedrisco possui módulo de finura de 3,08 e dimensão máxima de 4,75mm.

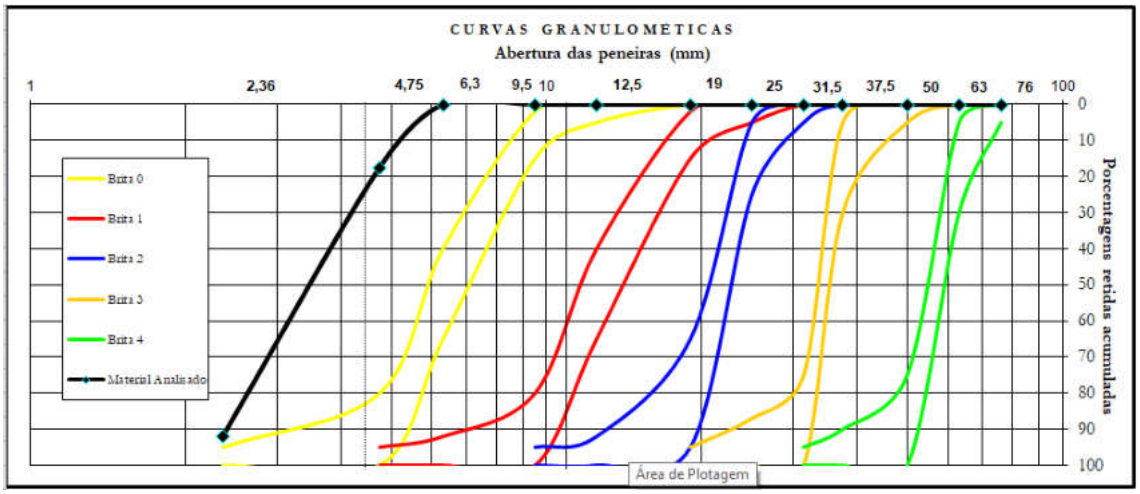
Tabela 15 – Classificação do pedrisco.

Módulo de Finura (da Média)	3,08
Dimensão Máxima Característica	4,75mm
Classificação do Agregado (2005)	Agregado Graúdo - Zona 4,75 / 12,5
Classificação do Agregado (1987)	Abaixo da Classificação: Agregado Graúdo - Brita 0

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

A Figura 30 a seguir representa a curva granulométrica do agregado graúdo pedrisco, na qual classifica o agregado graúdo como zona 4,75 / 12,5.

Figura 30 – Determinação da Composição Granulométrica- Agregado Graúdo Pedrisco.

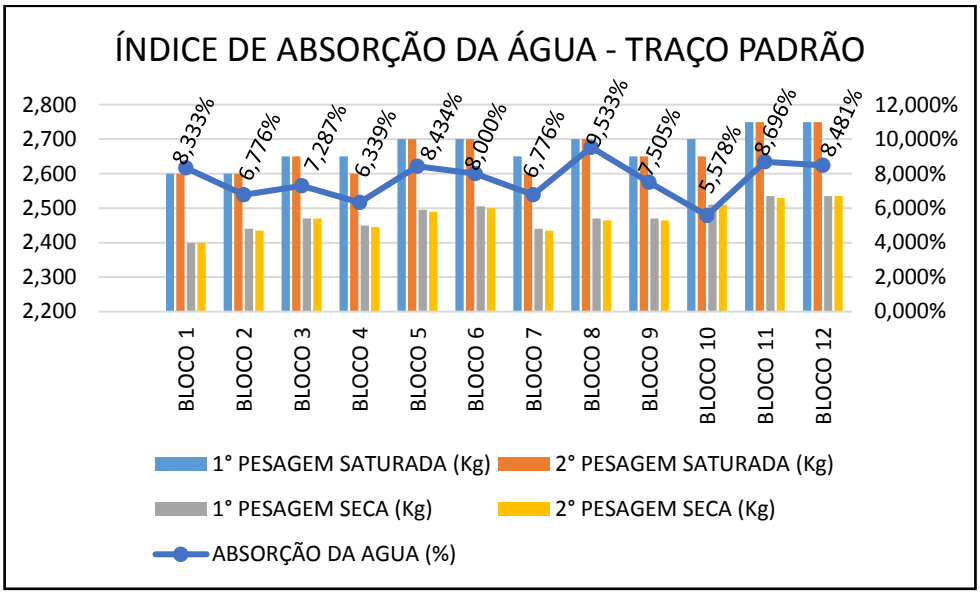


Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

4.2 RESULTADOS DOS ÍNDICES DE ABSORÇÃO DA ÁGUA

As figuras 31, 32, 33, 34 e 35 a seguir monstram os resultados dos índices de absorção da água do traço padrão e dos blocos com 5%, 10%, 15% e 20% de lama abrasiva medida em gramas (g), onde a média obtida foi de 7,38%.

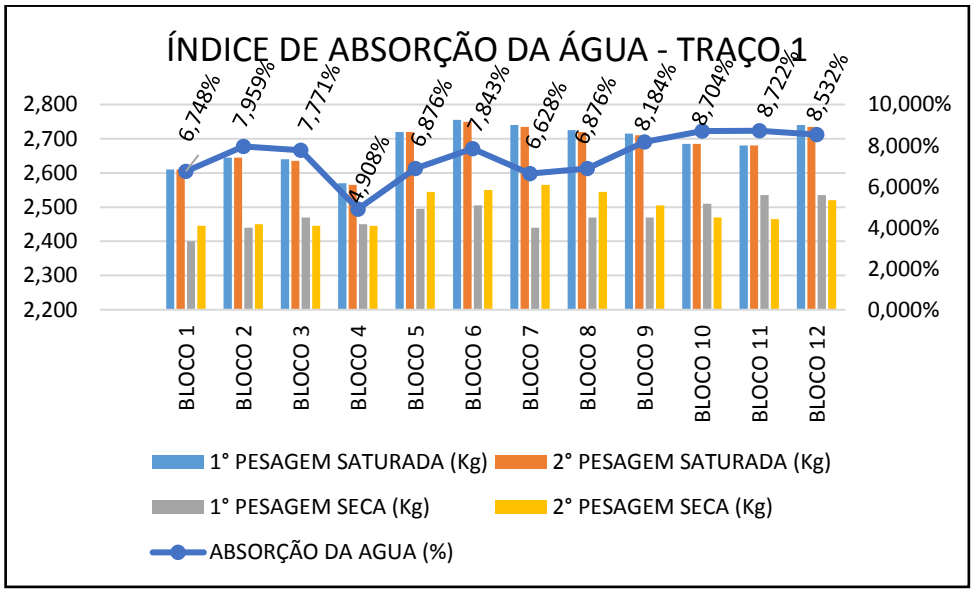
Figura 31 – Índice de absorção da água - Traço Padrão.



Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Na Figura 31, pode-se analisar que os blocos obtiveram uma média de 7,64% de absorção da água, sendo ocorrido uma discrepância no bloco 8 de 9,533%.

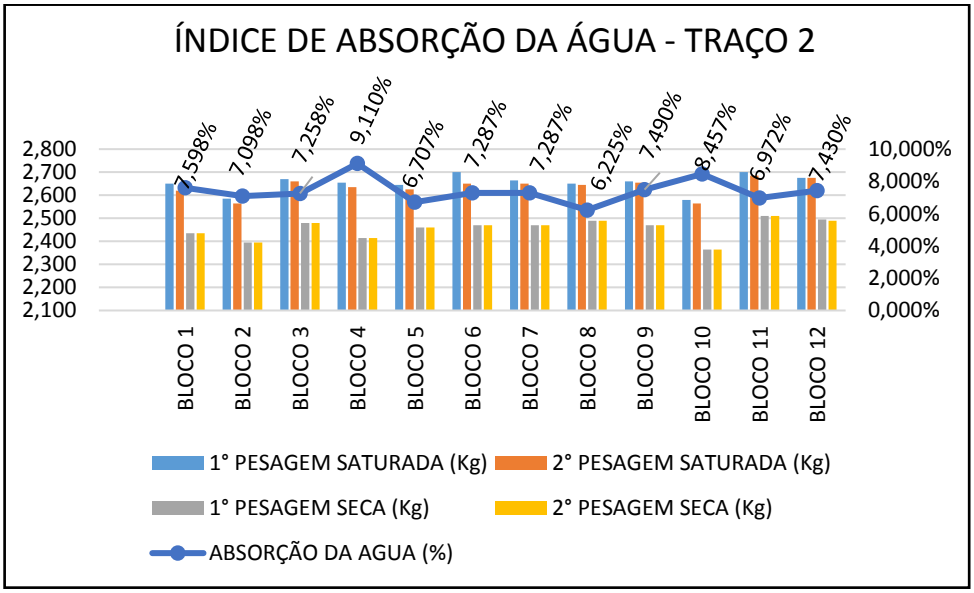
Figura 32 – Índice de absorção da água – Traço 1 (5% de lama abrasiva).



Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Na Figura 32 acima pode-se observar que o índice de absorção da água obteve uma média de 7,47%, com um pico de 8,722% de absorção no bloco 11. Observa-se também que o bloco 4 alcançou 4,908% de índice de absorção da água, sendo o único se enquadrando dentro da NBR 9781:2013.

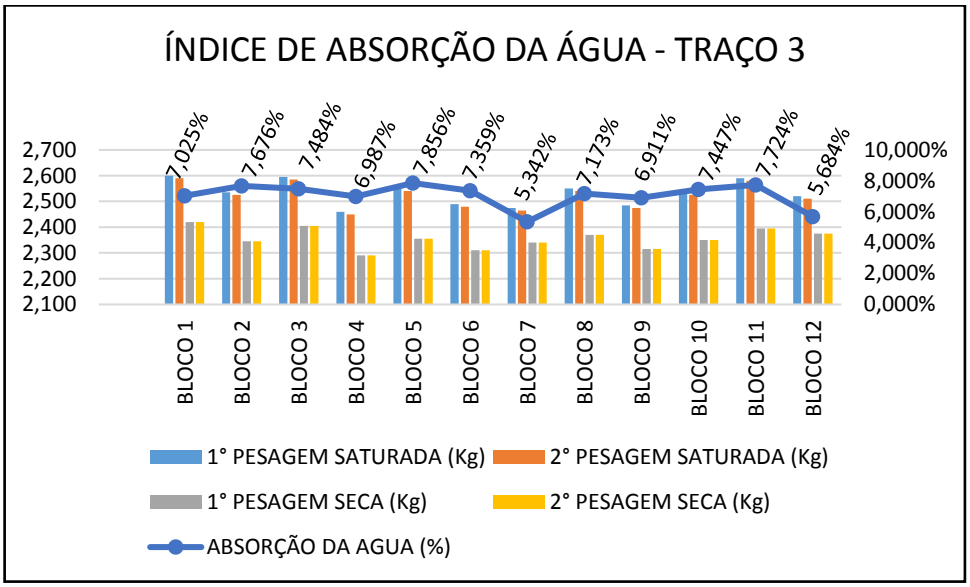
Figura 33 – Índice de absorção da água – Traço 2 (10% de lama abrasiva).



Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Através da análise da Figura 33, observa-se que o traço alcançou uma média de 7,41% excedendo 1,41% do valor exigido pela NBR 9781 (ABNT, 2013), que é uma taxa máxima de 6%. Pode-se ainda observar que o menor valor obtido para o ensaio com 10% de lama abrasiva foi de 6,225%, ultrapassando apenas 0,225% dos parametros exigidos pela norma.

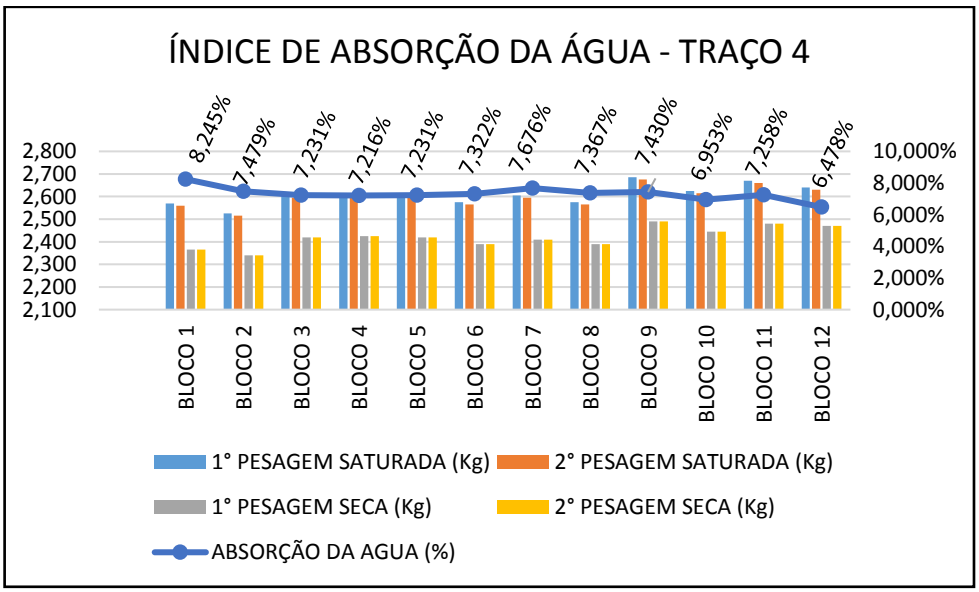
Figura 34 – Índice de absorção da água – Traço 3 (15% de lama abrasiva).



Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Analizando os dados da Figura 34, observa-se que para o ensaio de absorsão da água nos blocos com adição de 15% de lama abrasiva, dois blocos ficaram dentro dos valores exigidos pela norma, sendo eles: blocos 7 e 12. Todos os demais blocos alcançaram valores > 6%. A média para os 12 blocos foi de 7,056% excedendo 1,056% do valor ordenado pela NBR 9781 (ABNT, 2013).

Figura 35 – Índice de absorção da água – Traço 4 (20% de lama abrasiva).



Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

A Figura 35 apresenta os resultados dos índices de absorção da água obitidos nos pavers referentes ao traço 4, com 20% de lama abrasiva, onde o menor valor obtido foi de 6,478%, em contrapartida o maior valor obtido foi 8,245%, observa-se que a maioria dos pavers (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, e 11) obtiveram um valor de absorção da água proximos, alcançando uma média de 7,35%, e a média dos 12 blocos alcançou 7,324%, resultando uma sobreposição de 1,324% do valor exigido pela NBR 9781 (ABNT, 2013).

MOURA (2011), LEITE (2011) e COSTA et al., (2014) em suas pesquisas, concluíram que alguns dos fatores que auxiliam no aumento da resistência à compressão dos concretos produzidos com a lama de granito é a diminuição da absorção de água. A granulometria da lama proporciona um melhor preenchimento dos espaços vazios, portanto o teor de absorção de água reduz e a resistência à compressão aumenta.

4.2.1 Comparação do valor médio de Absorção da Água com a NBR 9781:2013

A Tabela 16 a seguir apresenta comparação do valor médio de Absorção da Água com o recomendado pela NBR 9781:2013 (ABNT, 2013. De acordo com os resultados obtidos, nenhum traço alcançou valor menor ou igual a 6% de acordo com as exigências da NBR 9781:2013, a média dos traços deu uma diferença de 1,38%, isso pode ter sido ocasionado devido a falhas no equipamento de estufa ou até mesmo pelo próprio material que foi adicionado.

Tabela 16 – Comparação do valor médio de Absorção da Água com o recomendado pela NBR 9781:2013 (ABNT, 2013).

VALOR EXIGIDO PELA NORMA (%)	**TRAÇO**				
	TP	**T1**	**T2**	**T3**	**T4**
	ÍNDICE DE ABSORÇÃO DA ÁGUA MÉDIO (%)				
6	7,64	7,48	7,41	7,06	7,32

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

4.3 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

As tabelas a seguir 17, 18 e 19 em conjunto com as figuras 36, 37 e 38, representam a média dos resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão do traço padrão e dos blocos com 5%, 10%, 15% e 20% de lama abrasiva, ensaiados aos 7, 14 e 28 dias de idade. A maior resistência foi obitida no traço 3 (15% de lama abrasiva), onde atingiu 40,63 MPa aos 28 dias. Analisando os resultados para a resistência à compressão no traço 4 (20% lama abrasiva) aos 28 dias, pode-se observar uma queda de 0,94 MPa em relação ao traço 3, sendo que para este traço 4 foi adicionado 5% de lama em relação ao traço 3.

4.3.1 Resultados dos ensaios de Compressão simples aos 7 dias

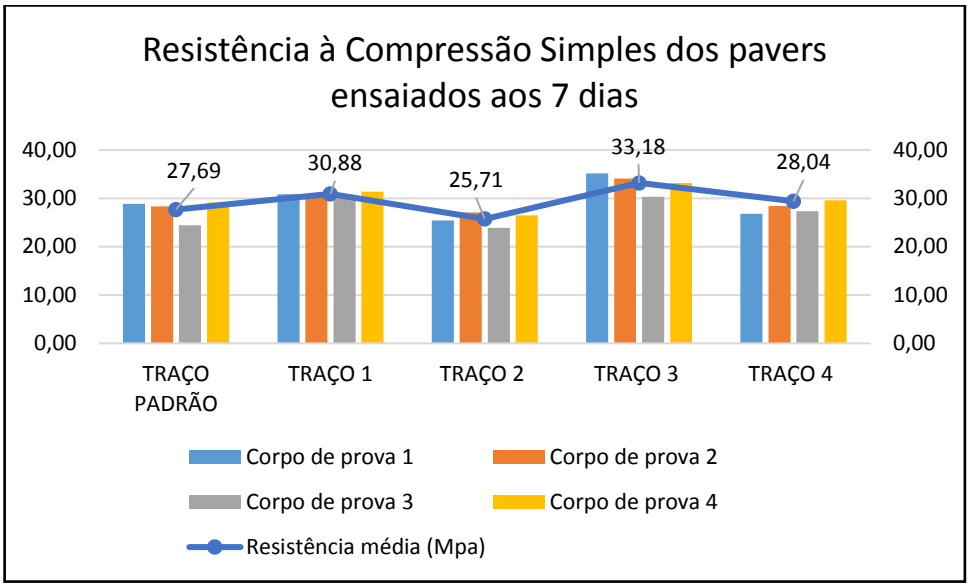
A Tabela 17 em conjunto com a Figura 36, apresentam os valores de resistência à compressão simples dos pavers ensaiados aos 7 dias de idade.

Tabela 17 – Valores de resistência à compressão simples dos pavers ensaiados aos 7 dias.

N°	**TRAÇO**				
	TP	**T1**	**T2**	**T3**	**T4**
	Resistência à compressão (Mpa)				
1	28,87	30,85	25,42	35,16	26,83
2	28,34	30,69	27,05	34,05	28,39
3	24,44	30,64	23,89	30,33	27,34
4	29,12	31,34	26,48	33,17	29,58
Média	**27,69**	**30,88**	**25,71**	**33,18**	**28,04**

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Figura 36 – Resistência à compressão simples dos pavers ensaiados aos 7 dias



Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Verifica-se que o maior valor de resistência à compressão foi alcançado no Traço 3 com adição de 15% de lama abrasiva sendo 33,18 MPa, aumentando 5,49 MPa de resistência em relação ao Traço Padrão.

4.3.2 Resultados dos ensaios de Compressão simples aos 14 dias

A Tabela 18 juntamente com a Figura 37, apresenta os resultados dos ensaios de resistência à compressão para os blocos ensaiados aos 14 dias.

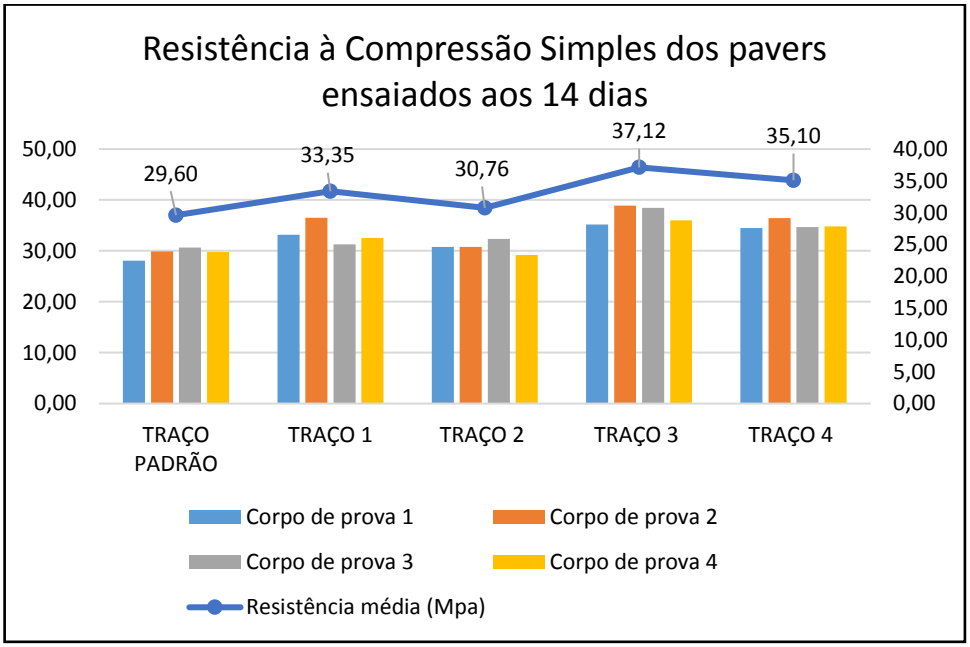
Tabela 18 – Valores de resistência à compressão simples dos pavers ensaiados aos 14 dias.

N°	TRAÇO				
	TP	**T1**	**T2**	**T3**	**T4**
	Resistência à compressão (Mpa)				
1	28,07	33,13	30,75	35,19	34,48
2	29,92	36,48	30,74	38,89	36,42

3	30,65	31,25	32,32	38,43	34,70
4	29,75	32,53	29,21	35,96	34,79
Média	**29,60**	**33,35**	**30,76**	**37,12**	**35,10**

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Figura 37 – Resistência à compressão simples dos pavers ensaiados aos 14 dias.



Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Observa-se que o TP (Traço Padrão) alcançou uma resistência à compressão média de 29,60 MPa não atingindo o valor exigido pela NBR 9781 (ABNT, 2013) que deve ser ≥ 35 MPa, em contrapartida os traços T3 (15% de lama abrasiva) e T4 (20% de lama abrasiva) alcançaram valores maiores que o mínimo exigido pela norma. O Traço 3 obteve uma resistência à compressão de 37,12 MPa, aumentando 7,52 MPa em relação ao Traço Padrão e o Traço 4 atingiu uma resitência de 35,10 MPa elevando 5,5 MPa comparado com o Traço Padrão inicial.

4.3.3 Resultados dos ensaios de Compressão simples aos 28 dias

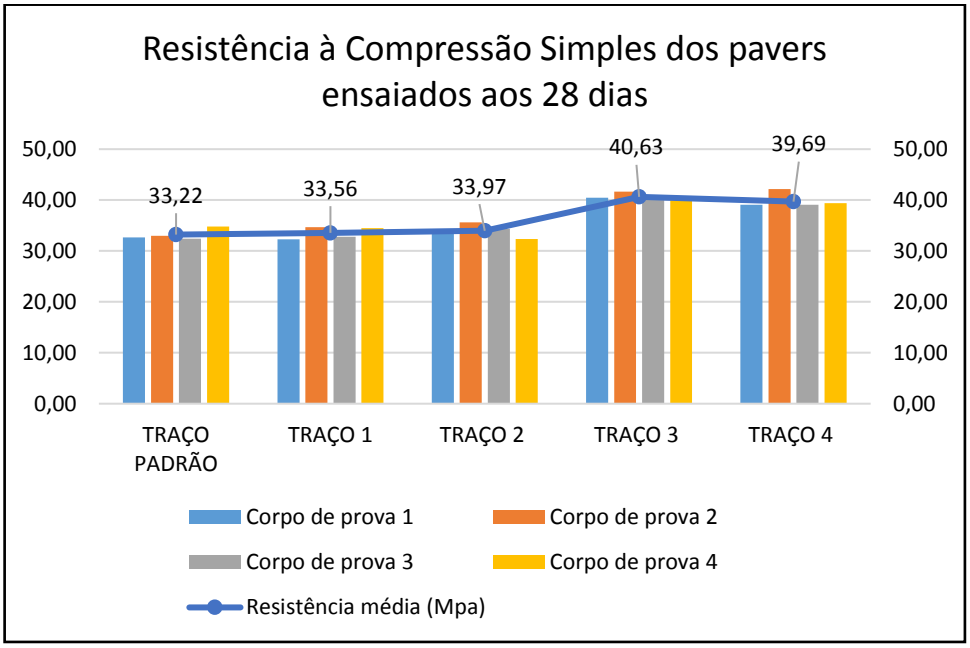
A Tabela 19 em conjunto com a Figura 38, apresenta os resultados dos ensaios de resistência à compressão para os blocos ensaiados aos 28 dias.

Tabela 19 – Valores de resistência à compressão simples dos pavers ensaiados aos 28 dias.

N°	TRAÇO				
	TP	T1	T2	T3	T4
	Resistência à compressão (Mpa)				
1	32,69	32,31	33,57	40,49	39,09
2	33,00	34,68	35,59	41,63	42,16
3	32,41	32,76	34,37	40,43	39,10
4	34,78	34,47	32,33	39,95	38,39
Média	**33,22**	**33,56**	**33,97**	**40,63**	**39,69**

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Figura 38 – Resistência à compressão simples dos pavers ensaiados aos 28 dias.



Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Após a análise da Tabela 19 com a Figura 38, verificou-se que o TP (Traço Padrão) alcançou uma resistência à compressão média de 33,22 MPa aos 28 dias de idade, não alcançando valor ≥ 35 MPa, de acordo com os parâmetros ordenados pela NBR 9781 (ABNT, 2013). Os traços T1 (5% de lama abrasiva) e T2 (10% de lama abrasiva) atingiram respectivamente uma resistência média de 33,56 MPa e 33,97 MPa também

não alcançando a resistência exigida pela norma. Em compensação os traços T3 (15% de lama abrasiva) e T4 (20% de lama abrasiva) alcançaram valores maiores que o mínimo exigido pela norma. O Traço 3 obteve a maior resistência à compressão sendo 40,63 MPa, aumentando 7,41 MPa em relação ao Traço Padrão e o Traço 4 atingiu uma resitência de 39,69 MPa elevando 6,47 MPa comparado com o Traço Padrão inicial.

Analisando as Tabelas 16, 17 e 18 em conjunto com as Figuras 36, 37 e 38 observa-se que a substituição com a lama abrasiva promoveu o aumento dos valores de resistência à compressão se comparado ao traço TP. Observamos que a lama abrasiva na proporção de 15%, nesse caso o traço T3, foi responsável pela maior resistência, tendo uma queda não muito significativa no traço T4 com 20% de lama abrasiva.

4.3.4 Comparação entre os resultados de Compressão simples aos 7 e aos 28 dias – efeito do tempo de cura

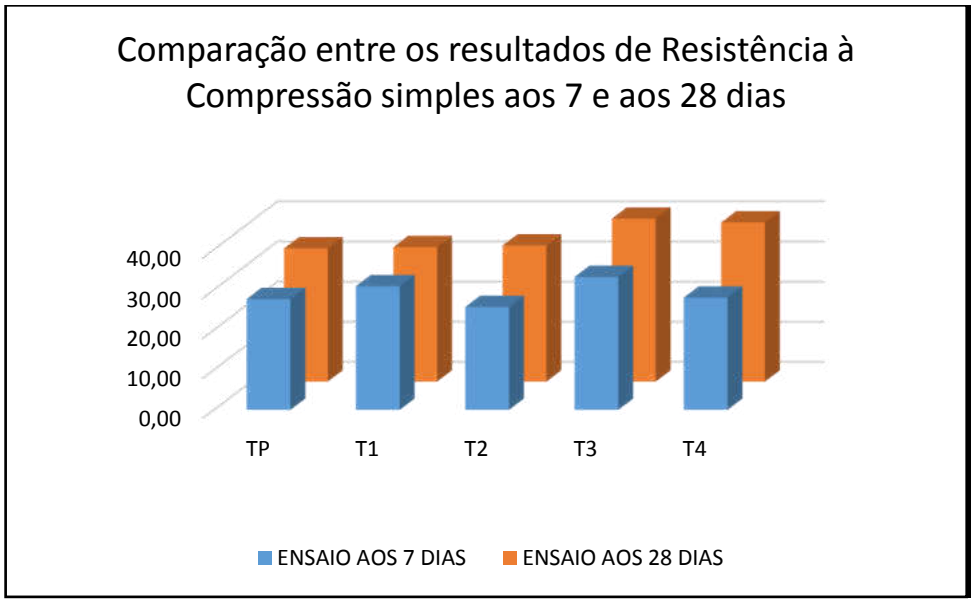
Este item trata-se da comparação entre os resultados dos ensaios aos 7 e aos 28 dias. Desse modo avaliamos o efeito do tempo no processo de cura sobre a resistência mecânica dos pavers produzidos com cada um dos traços estudados. A Tabela 20 e a Figura 39 apresentam uma comparação entre os resultados de Compressão simples aos 7 e aos 28 dias (efeito do tempo de cura).

Tabela 20 – Comparação entre os resultados de Compressão simples aos 7 e aos 28 dias – efeito do tempo de cura.

TRAÇO	**Média da Resistência à compressão (Mpa)**	
	7 DIAS	**28 DIAS**
TP	27,69	33,22
T1	30,88	33,56
T2	25,71	33,97
T3	33,18	40,63
T4	28,04	39,69

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Figura 39 – Comparação entre os resultados de Compressão simples aos 7 e aos 28 dias – efeito do tempo de cura.



Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Após a análise e discussões da Tabela 20 e a Figura 39, foi possível avaliar um aumento de 24,96% de resistência à compressão dos pavers para os ensaios feitos com 7 e 28 dias de idade dos blocos.

Barbosa et al. (2013), Alves (2008) e Binici et al. (2008) estudaram a fabricação de concreto utilizando rejeito de granito incorporado ao cimento, os resultados demonstraram que além de não ter comprometido a estrutura física dos materiais obtidos, a incorporação da lama tem como vantagem o aumento da resistência à compressão dos produtos.

4.3.5 Comparação dos resultados de Resistência a Compressão com às especificações das normas

No referencial teórico foram apresentadas as especificações de resistência à compressão de diferentes normas. Neste item são comparados os resultados obtidos com as especificações destas normas aplicadas em diferentes países. A Tabela 21

apresenta as especificações nas normas internacionais e em seguida a Tabela 22 apresenta uma comparação entre os resultados dos ensaios de resistência à compressão e os parâmetros exigidos por cada norma internacional.

Tabela 21 – Especificações da norma para avaliação mecânica de paver.

País	Norma	Parâmetro
Brasil	NBR 9780:1987	Resistência à compressão ≥ 35 MPa
Austrália	AS/NZS 4456.4:2003	Resistência à compressão ≥ 25 MPa
África do Sul	SANS 1058:2009	Resistência à compressão ≥ 25 MPa
Canadá	CSAA23.2- 95:1995	Resistência à compressão ≥ 50 MPa
EUA	ASTMC936:1996	Resistência à compressão ≥ 55 MPa

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Tabela 22 – Comparação dos resultados de ensaio de Resistência à Compressão aos 28 dias com as Normas.

Traço	Resistência Média – 28 dias	Enquadra na Norma
Padrão	33,22 MPa	Australiana e Africana
Traço 1	33,56 MPa	Australiana e Africana
Traço 2	33,97 MPa	Australiana e Africana
Traço 3	40,63 MPa	Brasileira, Australiana e Africana
Traço 4	39,69 MPa	Brasileira, Australiana e Africana

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

As especificações de resistência à compressão usualmente são estabelecidas para períodos de cura de 28 dias. Assim, para efeito de comparação foi utilizado apenas os dados alcançados aos 28 dias. Conforme a Tabela 21 o Traço Padrão, Traço 1 (5% de lama abrasiva) e Traço 2 (10% de lama abrasiva) enquadraram-se nas Normas Australiana e Africana, já o Traço 3 (15% de lama abrasiva) e o Traço 4 (20% de lama abrasiva) alcançaram além das Normas Australiana e Africana também a Norma Brasileira, que exige no mínimo 35MPa para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho estudou a análise de desempenho dos blocos fabricados com a adição da lama abrasiva, foi fabricado 120 blocos no total e para cada traço foi confeccionado 24 blocos, dentre os traços foi elaborado um Traço Padrão (sem adição de lama abrasiva) e em seguida sendo adicionado 5%, 10%, 15% e 20% medido em gramas (g) de lama através de um método de substituição do pó de pedra pela lama abrasiva.

Após o fornecimento do material abrasivo pela empresa de granitos localizada em Ibiraçu-ES, foi realizado a caracterização de todos os materiais compostos pelo pavers, em seguida foi fabricado os blocos com dosagens diferentes de lama abrasiva medida em gramas (g). Posteriormente foi realizado os ensaios de índice de absorção da água e resistência a compressão.

Tendo em vista os aspectos observados, na caracterização dos materiais compostos no pavers, apresentou para a areia e o pó de pedra uma classificação de zona ótima, ainda em relação aos agregados miúdos a lama abrasiva se encontra abaixo da classificação da zona utilizável dos limites inferiores por ser um material muito fino, o pedrisco se encontra abaixo da classificação dos agregados graúdos – Brita 0, por ter um granulometria menor que a brita 0.

Por conseguinte a incorporação da lama abrasiva na confecção de pavers intertravados de concreto superou o valor mínimo exigido pela NBR 9781 ABNT (2013) Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio (tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha), onde o traço com maior adição de rejeito alcançou aos 28 dias de idade uma resistência à compressão de 39,69 MPa.

Além de ser uma alternativa de reutilização desse rejeito de forma verde contrapondo-se seu descarte sem qualquer benefício ao meio ambiente, a lama abrasiva aumentou 6,47 MPa da resistência dos blocos comparado com o traço padrão utilizado.

O índice de absorção da água atingiu uma média de 7,38%, havendo um aumento de 1,38% em relação a norma que requer um valor ≤ 6%. Essa diferença de dados pode ter sido causada devido a falhas no equipamento de estufa ou erro de execução durante a realização dos ensaios.

A utilização de pavimento intertravados de concreto tem grandes vantagens, visto que esses pisos possuem a função de resistir e distribuir ao subleito os esforços aplicados sobre eles, além de melhorar as condições de rolamento e segurança. Dentre essas e outras vantagens, com a adição do rejeito abrasivo nos pavers poderá reduzir o custo de fabricação, dado que as empresas produzem em grande escala este material e precisam descartar ele de forma correta. Com isso, a utilização da lama é uma opção sustentável por ser tecnicamente, ambientalmente e economicamente viável.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se:

1. Realização dos ensaios de resistência à abrasão nos pavers;

2. Estudar novos traços e novas porcentagens de substituição na produção dos pavers;

3. Estudar a viabilidade econômica do bloco, comparando com outros já existentes no mercado;

4. Estudar outras possibilidades de empregabilidade da lama abrasiva em outros produtos como: telhas cerâmicas, blocos cerâmicos, argamassa, aditivos, etc.;

5. Estudo mais aprofundado dos componentes da lama abrasiva para entender o que provocou o aumento na resistência à compressão.

7. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 9781:2013**. Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR NM 248:2003**. Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 7211:2005**. Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 7207:1982.** Terminologia e classificação de Pavimentação. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.

ADADA, L. B. **Programa de integração e capacitação** – DER/ 2008.

AGUIAR, V. M.; MASCARENHAS, P. H. C.; MASCARENHAS, P. S. M. **Reaproveitamento de rejeito de corte de granito com adição de concreto para confecção de cobogós e pisos táteis.** São Paulo, 2018.

AGUILAR, G. S. **Blocos intertravados em concreto asfáltico reciclado à quente: contribuição para o estudo de viabilidade técnica**. Dissertação (mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Belo Horizonte, 2016.

ALVES, M. S. **Estudo das características e da viabilidade do uso de resíduos gerados no polimento de rochas graníticas como adição em concretos.** 2008. 131 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

AMADEI, D. I. B. **Avaliação de blocos de concreto para pavimentação produzidos com resíduos de construção e demolição do Município de Juranda/PR.** 153p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Maringá. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. Maringá, 2011.

BACHETI, G. P.; MAZIERO, R.; GARCIA, D. P. **Elaboração e caracterização de blocos de concreto com a incorporação de resíduos de granito.** Espírito Santo, 2018.

BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração.** São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2007.

BARBOSA, J. F.; COSTA, V. S.; LIMA, M. R. P. **Avaliação da utilização de lama abrasiva gerada no beneficiamento de mármore e granito para a confecção de telhas de concreto.** Espírito Santo, 2013.

BARBOSA, J. F.; COSTA, V. S.; LIMA, M. R. P. **Avaliação da utilização de lama abrasiva gerada no beneficiamento de mármore e granito para confecção de telhas de concreto.** Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v. 8, n. 1, p. 30-35, 2013.

BINICI, H.; SHAH, T.; AKSOGAN, O.; KAPLAN, H. **Durability off concrete made with granite and marble as recycle aggregates. Journal of Materials Processing Technology**, n. 208, p. 299-308, 2008.

BITTENCOURT, S. F. **Avaliação da resistência à compressão de pavers produzidos com agregados de resíduos de construção e demolição e areia de fundição.** Dissertação (Mestrado) - Tecnologia e Inovação, Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2012.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.** Brasília, DF. 2010.

BRASIL, **Resolução CONAMA n°452**, de 02 de julho de 2012. os procedimentos de controle da importação de resíduos, conforme as normas adotadas pela Convenção da Basiléia sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito. Publicado no D.O.U. de 04 de julho de 2012.

BUZZI, D.C. et al. **Caracterização segundo a NBR 10004/2004 de resíduos gerados no beneficiamento de granitos.** In: SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 8, Anais... Fortaleza, ABES, 2006. CD-ROM.

COELHO, M. A. M. et al. **Utilização do Resíduo do Beneficiamento de Rochas Ornamentais (RBRO) em substituição à argila em argamassas.** Cerâmica, São Paulo, 2007.

COSTA, A. V.; GUMIERI, A. G.; BRANDÃO, P. R. G. **Interlocking concrete blocks produced with sinter feed tailings. IBRACON Structures and Materials Journal.** v. 7, n. 2, p. 228-259, 2014.

Departamento de Estradas de Rodagem (DER). **Projeto de restauração de pavimento.** São Paulo, 2006.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro, 2006.

FERREIRA, R. **Pavimento intertravado de concreto x pavimento asfáltico.** PINI, São Paulo/SP, dez. Edição 125. Disponível em: <http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/125/artigo299124-1.aspx>

FILHO, H. F. M. et al. **Reciclagem dos Resíduos Sólidos de Rochas Ornamentais.** Anuário do Instituto de Geociências, UFRJ, Vol. 28-2/2005, p. 139-151.

LEITE, R. **Guia Orientativo do Serrador de Granito. Sinto Brasil Produtos Limitada.** Rer. 03/06.

LI, Y.; YU, H.; ZHENG, L.; WEN, J.; WU, C.; TAN, Y. **Compressive strength of fly ash magnesium oxychloride cement containing granite wastes. Construction and Building Materials**, n. 38, p. 1-7, 2013.

LIMA, R. C.O. **Estudo da durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solocimento incorporados com resíduo de granito.** 2010. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

LORENZONI, D.I. **Tijolos prensados produzidos com resíduos sólidos industriais: uma caracterização segundo a NBR 10004/2004.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 2005.

MANHÃES, J.P.V.T.; HOLANDA, J.N.F. **Caracterização e classificação de resíduo sólido "pó de rocha granítica" gerado na indústria de rochas ornamentais.** Química Nova, v. 31, n. 6, p. 1301-1304, 2008.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, J. M. P. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2 ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MOTA, J. D. **Utilização do resíduo proveniente do desdobramento de rochas ornamentais na confecção de tijolos ecológicos de solo-cimento.** Paraíba, 2010.

MOURA, W. A.; LEITE, M. B. **Estudo da viabilidade da produção de blocos com utilização de resíduo de serragem de rochas ornamentais para alvenaria de vedação.** Minas Gerais, 2011.

MOURA, W. A.; LEITE, M. B. **Estudo da viabilidade da produção de blocos com utilização de resíduo de serragem de rochas ornamentais para alvenaria de vedação.** REM – Revista Escola de Minas, v. 64, n. 2, p. 147-154, 2011.

PONTES, I. F.; VIDAL, F.W. H. **Valorização de resíduos de serrarias de mármore e granito e sua aplicação na construção civil.** Rio de Janeiro, 2005.

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

PORTLAND, Associação Brasileira de Cimento. **Pavimento Intertravado alia durabilidade e estética.** Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, São Paulo, 2012. Disponível em: <https://abcp.org.br/imprensa/banco-de-pautas/pavimento-intertravado-alia-durabilidade-e-estetica/>

SANTIAGO, N. O.; OLIVEIRA, D. F.; SOUSA, A. A.; MUNIZ, C. S.; SILVA, L. M. M.; SOUSA, M. D. **Estudo do fator água/cimento para a confecção de tijolos ecológicos de solo-cimento incorporados com resíduos gerados no beneficiamento de rochas ornamentais.** Paraíba, 2012.

SILVA, A. P. A. **Caracterização e classificação ambiental da lama do beneficiamento de rochas ornamentais.** Paraíba, 2013.

SILVA, S. A. C. **Caracterização do resíduo da serragem de blocos de granito: Estudo do potencial de aplicação na fabricação de argamassa de assentamento de tijolos de solo-cimento.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) -

Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 1998, apud BRANDÃO, K. C.; RIBEIRO, R. L. P. **Análise Ambiental de Blocos Cerâmicos Fabricados a partir da lama abrasiva proveniente do beneficiamento do mármore e do granito.** Monografia (Graduação) - Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, 2007.

SOUZA, J. N. et al. **Utilização dos Resíduos Provenientes da Serragem de Rochas Graníticas como Material de Enchimento em Concretos Asfaltos Usinados a Quente.** Disponível: <www.ambientebrasil.com.br. Acesso em 05 fev. 2019>

WIEBBELLING, O. G. P. **Pavimento com blocos intertravados de concreto: Estudo de caso na UNIVATES**. 2015. 73 p. Monografia – Engenharia Civil. Centro Universitário UNIVATES. Lajeado, 2015.