



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

CARACTERIZAÇÃO DE PEÇAS DE CONCRETO PARA
PAVIMENTAÇÃO PRODUZIDOS COM
REJEITOS DE ARDÓSIA

MARCELLE SOARES FREIRE

BELO HORIZONTE

2016

MARCELLE SOARES FREIRE

CARACTERIZAÇÃO DE PEÇAS DE CONCRETO PARA
PAVIMENTAÇÃO PRODUZIDOS COM
REJEITOS DE ARDÓSIA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Prof. Msc Evandro Carrusca de Oliveira

Co-orientador: Prof. Msc Mateus Justino da Silva

BELO HORIZONTE

2016

Soares Freire, Marcelle.

S---

Caracterização de peças de concreto para pavimentação produzidas com rejeitos de ardósia. Registro: 2016.

58f.; -- cm.

Orientador: Prof. MSc. Evandro Carrusca de Oliveira

Co-orientador: Prof. MSc Mateus Justino da Silva

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2016

1. Ardósia. 2. Pavimentos intertravados. 3. Rejeitos. 4. Agregados. 5. Reutilização. I. Soares Freire, Marcelle. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. III. Caracterização de peças de concreto para pavimentação produzidas com rejeito de ardósia.

CDD -----

MARCELLE SOARES FREIRE

PEÇAS DE CONCRETO PARA
PAVIMENTAÇÃO PRODUZIDOS COM
REJEITOS DE ARDÓSIA

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao curso de Engenharia
Ambiental e Sanitária do Centro Federal
de Educação Tecnológica de Minas
Gerais como requisito para obtenção do
título de Engenheiro Ambiental e
Sanitarista.

Data: 10/11/2016



Marcelle Soares Freire



Prof. Msc Evandro Carrusca de Oliveira

BELO HORIZONTE

2016

TERMO DE APROVAÇÃO

Marcelle Soares Freire

CARACTERIZAÇÃO PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO PRODUZIDOS COM REJEITOS DE ARDÓSIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Engenharia Ambiental e Sanitária do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito à obtenção do título de obtenção do grau de Engenharia Ambiental e Sanitarista, pela seguinte banca examinadora:

Prof. Msc Evandro Carrusca de Oliveira
Orientador – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais- CEFETMG

Prof. Msc Mateus Justino da Silva
Co-orientador – Departamento de Engenharia de Transportes
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais- CEFETMG

Prof. Dr Augusto César da Silva Bezerra
Departamento de Engenharia de Transportes
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais- CEFETMG

Prof. Msc Mario de Souza Silva
Departamento de Engenharia de Transportes
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais- CEFETMG

AGRADECIMENTOS

A graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária não seria possível sem a motivação e o encorajamento de pessoas muito queridas. Gostaria de agradecer em especial aos meus pais pelo incentivo e por estarem sempre ao meu lado me ajudando em tudo que foi preciso. Agradeço a meu marido Felipe e meu irmão João por sempre acreditarem em mim e me dar forças para ultrapassar todas as dificuldades. Ao grupo de professores do CEFET-MG que me ensinaram muito mais que matérias mas contribuíram imensamente para a formação da engenheira que serei. Ao meu orientador Professor Evandro Carrusca e Co-orientador Professor Mateus Justino por me ajudarem nesse projeto. Agradeço ao laboratório de pavimentação, ao laboratório de materiais e ao professor Augusto César pela ajuda e disponibilização dos laboratórios para a realização da parte experimental. E por fim, agradeço aos meus amigos que sempre me incentivaram a continuar e concluir meu curso, me apoiando em todas as etapas.

RESUMO

A produção de ardósia é uma atividade de grande representatividade na economia de Minas Gerais. O estado é o maior produtor do Brasil e a atividade é responsável por empregar uma quantidade considerável de trabalhadores. A mineração, em especial a mineração de ardósia, produz grandes quantidades de rejeitos, que geralmente não são reutilizados e são deixados no meio ambiente em enormes pilhas. A busca pela reutilização desses rejeitos é de fundamental importância para a redução de impactos ambientais e para manutenção dos recursos naturais. Visto que, por se tratar de uma atividade de importância econômica, não pode ser reduzida ou interrompida. Nesse trabalho são realizados testes em agregados e amostras de pavimentos intertravados produzidos com rejeitos da mineração de ardósia. Concluiu-se que é possível sua utilização e que sua produção poderia contribuir para a redução das enormes pilhas de rejeitos da mineração, além de reduzir outros tipos de mineração, como a produção da brita de calcário.

Palavras chave: Ardósia, agregados e reutilização.

ABSTRACT

The production of slate is a highly representative activity in the Minas Gerais economy. The state is the largest producer in Brazil and the activity is responsible for a considerable number of workers employees. Mining, especially slate mining, produces large quantities of tailings, which are generally not reused and are left in the environment in huge piles. The search for reuse of these wastes have a fundamental importance for the environmental impacts reduction and for the maintenance of natural resources. Once it has a major relevance on economy, it can not be reduced or interrupted. In this papper, tests are performed on aggregates and interlocking pavements samples maded with tailings from slate mining. It was concluded that its use is possible and that its production could contribute to the reduction of the huge piles of tailings from the mining, besides reducing other types of mining, like the production of limestone.

Key words: Slate, aggregates and reuse.

SUMÁRIO

TERMO DE APROVAÇÃO	5
AGRADECIMENTOS	6
RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	8
1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	14
2. MOTIVAÇÃO	15
3. OBJETIVOS.....	16
3.1. OBJETIVO GERAL	16
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
4. ESTADO DA ARTE E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
4.1. INTRODUÇÃO.....	17
4.2. ARDÓSIA.....	17
4.3. CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND	20
4.4. AGREGADOS.....	22
4.5. PAVIMENTOS INTERTRAVADOS	24
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
5.1. MATERIAIS.....	27
PARA A CONFEÇÃO DOS PAVIMENTOS INTERTRAVADOS EM QUESTÃO FORAM UTILIZADOS OS SEGUINTE MATERIAIS E RESPECTIVAS QUANTIDADES:.....	27
80 LITROS DE BRITA DE CALCÁRIO ZERO, 80 LITROS DE BRITA DE CALCÁRIO 1, 80 LITROS DE BRITA DE ARDÓSIA, 160 LITROS DE AREIA E 80 LITROS DE CIMENTO CPV.	27
5.2. MÉTODO	27
5.3. AQUISIÇÃO DE MATERIAIS	27
5.4. CARACTERIZAÇÃO DA ARDÓSIA E DOS AGREGADOS NATURAIS	27
5.4.1. <i>Determinação do teor de umidade</i>	27
5.4.2. <i>Análise granulométrica</i>	27
5.4.3. <i>Determinação da massa unitária</i>	29
5.4.4. <i>Determinação de massa específica</i>	30
5.4.5. <i>Determinação do teor de material pulverulento</i>	32
5.5. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DAS PEÇAS	33
5.5.1. <i>Determinação das propriedades físicas e mecânicas</i>	33
5.5.2. <i>Determinação da absorção de água</i>	33
5.5.3. <i>Determinação dos índices de vazios</i>	34

5.5.4.	<i>Determinação da massa específica</i>	35
5.5.5.	<i>Determinação da expansibilidade</i>	36
5.5.6.	<i>Determinação da uniformidade</i>	37
5.6.	DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS PEÇAS	37
5.6.1.	<i>Capreamento</i>	37
5.6.2.	<i>Determinação da resistência à compressão</i>	38
6.	RESULTADOS	40
6.1.	CARACTERIZAÇÃO DA ARDÓSIA E CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS NATURAIS.....	40
6.1.1.	<i>Determinação do teor de umidade</i>	40
6.1.2.	<i>Análise granulométrica</i>	40
6.1.3.	<i>Determinação da massa unitária</i>	41
6.1.4.	<i>Massa Específica</i>	42
6.1.5.	<i>Determinação de material pulverulento</i>	43
6.1.6.	<i>Determinação da absorção de água</i>	44
6.1.7.	<i>Determinação do índice de vazios</i>	46
6.1.8.	<i>Determinação da massa específica</i>	47
6.1.9.	<i>Determinação da expansibilidade</i>	48
6.1.10.	<i>Determinação da Uniformidade</i>	48
6.1.11.	<i>Determinação da resistência à compressão</i>	49
7.	CONCLUSÃO	51
8.	PROPOSTA DE CONTINUIDADE	52
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Depósito de bota fora na lavra de ardósia.....	15
FIGURA 2- Análise por peneiramento.....	24
FIGURA 3- Estruturas típicas de um pavimento de ECP	26
FIGURA 4- Peneiras utilizadas no ensaio de granulometria.....	28
FIGURA 5 – Ensaio de granulometria	29
FIGURA 6 - Alisamento da superfície com régua	30
FIGURA 7 - Ensaio de massa específica de agregado miúdo.....	31
FIGURA 8- Ensaio de determinação de material pulverulento.....	32
FIGURA 9 - Amostra de pavimento imersa em água por 72 horas	33
FIGURA 10 - Pesagem de amostra saturada de água.....	34
FIGURA 11 - Pesagem da amostra imersa em água	35
FIGURA 12 - Colocação dos pinos nas amostras	36
FIGURA 13 - Medida da expansão com paquímetro.....	37
FIGURA 14 -Exemplos de medidas para o ensaio de uniformidade	37
FIGURA 15 - Capeamento da peças de pavimentos intertravados	38
FIGURA 16 - Ensaio de compressão dos corpos de prova	39
FIGURA 17 - Corpo de prova após compressão.....	39
FIGURA 18 - Ensaio de uniformidade.....	49

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Peneiras utilizadas no ensaio de granulometria.....	40
TABELA 2 - Ensaio de massa unitária	41
TABELA 3 - Ensaio de determinação de massa específica	42
TABELA 4 - Taxa de absorção de água.....	43
TABELA 5 - Ensaio de determinação de material pulverulento.....	43
TABELA 6 - Peso seco	45
TABELA 7 - Peso saturado após 72h de imersão	45
TABELA 8 - Absorção de água	46
TABELA 9 - Peso imerso.....	46
TABELA 10 - Índice de Vazios	47
TABELA 11 - Ensaio de massa específica.....	47
TABELA 12 - Ensaio de expansibilidade	48
TABELA 13 - Ensaio de resistência à compressão.....	49

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - Quantidade de material retido em cada peneira.....	41
GRÁFICO 2 - Ensaio de determinação de massas específicas	43
GRÁFICO 3 - Ensaio de determinação de material pulverulento	44

1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

O grande crescimento da população e os avanços da tecnologia provocou o aumento da dependência por bens e serviços para suprir necessidades. E na maioria das vezes, a fonte abastecedora de materiais e recursos para suprir a demanda é o meio ambiente, os recursos naturais. (ISAIA & GASTALDINI, 2004)

A produção de ardósia é hoje uma atividade de grande importância para a economia do estado de Minas Gerais, porém apresenta alta taxa de produção de rejeitos, que aumentam os impactos ambientais provocados pela mineração. (CHIODI FILHO & CHIODI, 2014)

A construção civil, dentre os setores da indústria, é a responsável por grande parte do consumo de recursos naturais no mundo, sendo o concreto o maior consumidor desses recursos. (ISAIA & GASTALDINI, 2004). A utilização do rejeito de ardósia como parte de peças de concreto não somente diminuiria o consumo dos recursos naturais, mas também reduziria os impactos ambientais causados pela extração da ardósia, visto que as pilhas de “bota- foras” seriam menores.

2. MOTIVAÇÃO

O meio ambiente é um assunto que continuamente ganha enfoque e é objeto de uma crescente preocupação quando associado à degradação ambiental. Além da necessidade de tecnologias que aproveitem melhor os recursos naturais, produza menos rejeitos e impactos ao meio ambiente é fundamental que ocorra uma mudança nos hábitos de todos.

Uma das maiores discussões atualmente é sobre reciclar, reduzir e reutilizar. Esse tema é bastante visto e discutido no CEFET-MG ao longo dos anos e das matérias. É imprescindível levantar esse assunto não somente na Engenharia Ambiental e Sanitária, mas em todos os cursos.

Levando em consideração que os recursos naturais estão cada vez mais escassos, e a necessidade e dependência deles é cada vez maior, é muito importante e de grande urgência criar meios para diminuir seu consumo. A produção de materiais alternativos que tenham como matéria prima rejeitos é um grande passo para a redução da degradação ambiental.

A utilização de rejeitos de ardósia em substituição de agregados graúdos naturais, promove não somente a redução do usos de recursos naturais, mas também a reutilização de materiais que antes eram considerados resíduo. Durante a produção de ardósia há grande deposição de rejeitos no meio ambiente (figura 1), que promove intensa degradação desse meio.

FIGURA 1 – Depósito de bota fora na lavra de ardósia



Fonte: Evandro Carrusca

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

Avaliar o uso de rejeitos de ardósia na confecção de peças de concreto utilizadas para pavimentação.

3.2. Objetivos específicos

- Realizar a caracterização física dos rejeitos de ardósia utilizados para produção de peças de concreto.
- Avaliar os parâmetros relacionados à geometria, absorção e porosidade de peças de concreto com substituição de agregados graúdos naturais por agregados de rejeitos de ardósia.
- Avaliação do comportamento mecânico das peças de concreto para pavimentação produzidas com substituição de agregados naturais por agregados de ardósia, comparativamente com aqueles produzidos somente com agregados naturais.

4. ESTADO DA ARTE E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1. Introdução

Atualmente, o aumento da importância do meio ambiente para a sociedade tem elevado o interesse nos materiais de construção e o possível impacto causado por eles no meio ambiente (ABCP, 2015). Um dos problemas que se tem hoje é a degradação ambiental e a necessidade de sua redução. O caminho para isso são as pesquisas tecnológicas que visem solucionar esse problema, para se ter uma melhora no meio ambiente e na qualidade de vida. Uma questão de fundamental importância para a redução dessa degradação é a reutilização e reciclagem dos rejeitos (PABLOS *et al*, 2011).

O meio ambiente é grandemente impactado durante a extração mineral, que também gera uma enorme quantidade de rejeitos, devido à desperdícios, aproveitamento ineficiente dos recursos e uso de tecnologias inadequadas. Uma produção de materiais alternativos utilizando partes desses rejeitos como matéria prima poderá reduzir ou eliminar a poluição nas áreas de extração (SOUZA & MANSUR, 2000).

4.2. Ardósia

Brasil é um dos maiores produtores de ardósia do mundo e o estado de Minas Gerais é responsável por 90% dessa produção e quase a totalidade da exportação de ardósia do país. (SANTOS *et al*, 2014). Calcula-se que sejam gerados e acumulados em pilhas de bota-fora, aproximadamente 5.000.000 de toneladas por ano de estéril e rejeitos na exploração de ardósia (CHIODI FILHO & CHIODI, 2014). Esses rejeitos não podem ser utilizados como recobrimento rochoso devido às suas características físicas, pois ou são pequenos pedaços de rochas com formato irregular, ou são efluentes líquidos (lama), do processo de beneficiamento (OLIVEIRA *et al*, 2000).

A província de produção de ardósia em Minas Gerais apresenta cerca de 7.000 km², e abrange os municípios de Papagaios, Curvelo, Pompeu, Paraopeba, Caetanópolis, Felixlândia, Leandro Ferreira, Martinho Campos e Pitangui. No distrito de Felixlândia produzem-se ardósias verdes e/ou roxas; no distrito do Rio Paraopeba, ardósias cinzentas e/ou cinza e ferrugem; no distrito do Rio Pará, ardósias cinzentas; no distrito do Riacho da Areia, ardósias escuras (negras ou grafite) (CHIODI FILHO & CHIODI, 2014). As cores cinza, preta e grafite podem dar origem à ardósia cor de “ferrugem”, resultado da oxidação de finas lamelas com piratas interstratificadas (MME, 2009).

O município de Papagaios detém cerca de 60% da produção total de ardósia do estado, sendo o foco principal da extração e beneficiamento. O principal produto beneficiado são ladrilhos/lajotas padronizados. No beneficiamento são realizados o esquadrejamento, acabamento de superfícies, calibração da espessura, cortes curvos e perfurações. (CHIODI FILHO & CHIODI, 2014)

De acordo com o autor citado acima, a taxa de recuperação, aproveitamento, da lavra é muito baixa, de 10 a 15% em plena fase desenvolvimento da pedreira e na fase de desenvolvimento inicial, essa taxa é por volta de 5% a 10%. Através de imagens de satélites, até janeiro de 2014, foram identificadas na região 137 pilhas de bota fora, que estão distribuídas: 61 no município de Papagaios; 24 em Paraopeba; 18 em Felixlândia; 10 em Curvelo; 9 em Martinho Campos; 7 em Pompeu; 6 em Leandro Ferreira; 1 em Caetanópolis; 1 em Pitangui).

A grande importância da mineração de ardósia para a economia do estado, a falta de pesquisas tecnológicas para se conhecer o comportamento da jazida, a falta de planejamento, o baixo valor agregado à matéria-prima e os baixos índices de recuperação da cava contribuem para a geração de impactos ambientais. Sendo a baixa taxa de recuperação da pedreira a maior causadora de impactos, como as grandes cavas abertas para a extração, grandes pilhas de estéril e rejeitos no entorno das lavras e das unidades de beneficiamento (“bota-foras”) e os efluentes líquidos que contêm pó de serragem. (FREITAS, 2012)

A ardósia é uma rocha metamórfica formada por material extremamente fino, semelhante ao que constitui a argila (SOUZA & MANSUR, 2000). Ela é gerada através do metamorfismo de baixo grau das argilas. Que passam a argilitos e folhelhos, e pelo processo de metamorfismo de alta pressão e temperatura passam a ardósias e filitos (OLIVEIRA *et al*, 2000). A ardósia é formada por longas placas ao longo de sua superfície e isso é resultado da recristalização sob pressão, conhecida como clivagem ardosiana (SOUZA & MANSUR, 2000).

Os principais constituintes da ardósia são mica branca fina (sericita), quartzo, clorita e grafita. Podem ocorrer também quantidades variáveis de carbonato, turmalina, titanita, rutilo, feldspato, óxidos de ferro e pirita. Por ser constituída basicamente por minerais estáveis, a ardósia é resistente ao intemperismo e por isso muito duráveis. Algumas impurezas podem contribuir para a durabilidade das ardósias (MME, 2009).

De acordo com FEAM (2015), o processo de produção da ardósia se inicia na lavra, que apresenta os seguintes passos, decapeamento, corte, desacoplamento, carregamento e envio de rejeitos para pilhas de estéril. O decapeamento do terreno pode chegar a 40 m de

profundidade. A profundidade determina a viabilidade econômica do projeto. É durante essa fase que ocorre a maior produção de rejeitos, pois são retirados grandes quantidades de solo e rocha intemperizada.

Assim que se atinge a camada de ardósia comerciável começam-se os cortes em degraus, com profundidade entre 15 cm e 25 cm. Os cortes são realizados com discos diamantados anexados a um carrinho, chamado comumente de “carrinho paraopeba”. Logo após é realizado o corte da ardósia e são formados lajões de formas retangulares de aproximadamente 2,30m x 1,40m.

O desacoplamento é realizado manualmente através de cunhas, também chamadas de lemos. Em seguida os lajões desprendidos são carregados por caminhões e os rejeitos encaminhados às pilhas de estéreis.

O beneficiamento é a segunda parte do processo de produção da ardósia que dará o acabamento final ao ladrilho, chapas e demais peças. O primeiro passo é a delaminação em que os lajões são abertos com cunha e marreta a fim de obter lâminas com menor espessura. Em seguida são executados o corte e o esquadrejamento, ambos são realizados com discos diamantados na dimensão exigida pelo mercado. Podem ocorrer também acabamentos, como jateamento, polimento, tamboreamento, ranhuramento e escovamento das peças de ardósia, quando há demanda do mercado.

O pó de ardósia apresenta baixo valor agregado e gera problemas no remanejamento de resíduo e assoreamento de rios (CARVALHO *et al*, 2007). A produção de materiais que utilizam os rejeitos da extração da ardósia poderá diminuir a poluição gerada nessas áreas e criar

As propriedades físicas da ardósia como clivagem preferencial, dureza média, baixa porosidade, alta resistência mecânica, minerais constituintes do intemperismo, entre outros, conferem a ela uma ampla utilização em revestimentos. E por isso, a ardósia é mundialmente conhecida pelo largo emprego em edificações, como pisos e telhados. (AMARMG, 2015). Além disso, ela se destaca nos revestimentos internos pela compatibilidade estética com madeiras, tapeçarias e metais. Essas características, somadas à facilidade de manutenção e limpeza confere à ardósia grande confiabilidade na construção civil (CHIODI FILHO RODRIGUES; ARTUR, 2003).

Os resíduos gerados na lavra e nas unidades de beneficiamento podem ser aproveitados na indústria, assim, é importante e necessário a busca por alternativas de aproveitamento desses rejeitos como matéria-prima em setores com alto consumo de minerais industriais (CARRUSCA, 2001). Os resíduos de ardósia podem ser utilizados tanto como pó

quanto como em brita, sua aplicação adequada dependerá do tipo de utilização destinada (SILVA, 2015).

Carrusca (2001) desenvolveu trabalhos visando o aproveitamento de resíduos de ardósia como insumo mineral na fabricação de cimento, apresentando alternativas para a utilização industrial dos rejeitos gerados na extração da ardósia.

4.3. Concreto de cimento Portland

A construção civil é um setor da indústria que consome grande parte dos recursos naturais, isso se deve ao concreto, que é o grande responsável por esse consumo, já que é o segundo material mais consumido no mundo (ISAIA & GASTALDINI, 2004). Uma grande preocupação na confecção do concreto é a qualidade dos agregados graúdos que o compõe. Porém, com a crescente demanda do insumo e exaustão das reservas, é imprescindível a busca por novos insumos menos impactantes (MENOSSI, 2004).

O concreto é escolhido como o melhor material para ser utilizado em construções devido à sua resistência à penetração da água, o que não é visto no aço ou na madeira; baixo custo e falta de necessidade de mão de obra especializada (MENEZES, 2011, MEHTA & MONTEIRO, 2008).

O investimento no estudo das estruturas de concreto é julgado por países como Canadá e Estados Unidos como um dos mais importantes investimentos na ciência e tecnologia, que pode proporcionar e manter qualidade de vida das pessoas e permitir a liderança de seu parque industrial, já que permite que a indústria tenha conhecimentos e se mantenha competitiva (HELENE & ANDRADE, 2010).

O concreto de cimento Portland é uma mistura entre um aglomerado, o cimento Portland, agregados graúdos, normalmente britas, e agregados miúdos, geralmente areia lavada e água. Esses materiais em proporções diferentes promovem um concreto com características distintas (ARAÚJO *et al*, 2000).

A mistura de cimento Portland com água forma uma pasta que juntamente aos agregados produz um material facilmente moldável que pode assumir qualquer forma. E este, após certo tempo, endurece, devido à uma reação irreversível da água com o cimento, e passa a ser um material com excelente desempenho estrutural, sob as mais variadas formas de exposição (HELENE & ANDRADE, 2010).

Existem três fatores que são essenciais para a resistência do concreto, são eles, resistência do agregado, resistência da pasta e resistência da ligação entre pasta e agregado.

Além disso, é indispensável a correta produção do concreto, para uma boa resistência e durabilidade. E para isso são necessárias várias operações, que devem ser bem executadas, para que não ocorram problemas, como dosagem dos materiais, mistura dos materiais, transporte até o local da obra, colocação do concreto em seu lugar definitivo, adensamento e cura (ARAÚJO *et al*, 2000).

Para a avaliação das características do concreto são utilizados ensaios de determinação mecânica destrutivos e não destrutivos. Sendo o mais comum destrutivo, resistência à compressão (BARBOSA *et al*, 2009).

A resistência à compressão é o ensaio mais utilizados para testar a resistência do concreto, visto que seu custo é baixo e há possibilidades de comparação entre outras propriedades do concreto. A resistência é sujeita a muitos fatores durante o ensaio de compressão, como regularização do topo dos corpos de prova, a velocidade de aplicação do carregamento do ensaio, as dimensões dos corpos de prova, a relação altura, diâmetro e rigidez, a rigidez do equipamento de ensaio etc. O controle de produção, dessa forma, torna-se de grande importância para a obtenção de concretos com as condições ideais, de acordo com as especificadas em cálculos (PEREIRA, 2008).

A regularização dos topos e das bases dos corpos de prova, o que leva à distribuição de tensões, pode ser realizada através de sistema de capeamento colados, sistema de capeamento não colados e sistemas de desgaste mecânico (PEREIRA, 2008, SILVA *et al*, 2011, BARBOSA *et al*, 2009).

No sistema de capeamento colados são utilizados materiais que formam uma camada regular que adere ao corpo de prova. Pode-se ressaltar nessa categoria o capeamento com mistura de enxofre e capeamento com pasta e argamassa de concreto (SILVA *et al*, 2011, BARBOSA *et al*, 2009).

Para o sistema de capeamento não colados utiliza-se um material como almofada para as bases do corpo de prova, podendo ele estar confinado ou não. Os materiais mais utilizados são os elastômetros como o Neoprene. Utiliza-se também areia confinada. E por fim, o sistema de desgaste mecânico consiste na remoção de uma fina camada de material do topo e base, a fim de tornar a superfície lisa e sem ondulações e abaulamentos (BARBOSA *et al*, 2009).

De acordo com a norma NBR 5738 (2003), os corpos de provas que não tiverem sido arrematados devem ser capeados ou retificados. O capeamento fundamenta-se na aplicação de uma fina camada de material apropriado nos topos dos corpos de prova. Material tal que tenha as seguintes características, aderência ao corpo de prova, compatibilidade química com o

concreto, fluidez no momento de sua aplicação, acabamento liso e plano após o endurecimento, resistência à compressão compatível com os valores normalmente obtidos em concreto. Para o capeamento deve-se utilizar um dispositivo auxiliar chamado capeador que garanta a perpendicularidade da superfície com a geratriz corpo de prova, e uma superfície lisa e livre de vazios. A espessura do capeamento não pode exceder 3 mm cada topo.

A norma NBR NM 77 (1996) estabelece que a preparação de bases de corpos de prova para concretos frescos devem ser com pasta de cimento portland ou argamassa de cimento portland. Para corpos de prova com concreto endurecido, a preparação das bases deve ser feita com argamassa de enxofre.

O enxofre tem sido utilizado para o capeamento de corpos de prova desde o início do século XXI, por apresentar características como endurecimento rápido, atinge elevadas resistências em poucos horas e boa aderência. A desvantagem de seu uso é devido ao gás sulfídrico liberado durante o aquecimento do enxofre em pó, quando este está contaminado com parafinas e óleos. É um gás tóxico que provoca irritação das mucosas da via respiratória e em contato com a água e o oxigênio forma o gás sulfúrico. Esse procedimento requer por isso cuidados especiais (BARBOSA *et al*, 2009).

4.4. Agregados

No Brasil o termo “agregado para construção civil” é usado para definir um setor mineral que produz matéria prima mineral bruta ou beneficiada para a construção civil. São normalmente areia e brita e entram muitas vezes em misturas como concreto e argamassa. Os agregados são geralmente obtidos de portos de areia e pedreiras, mas também podem ter outras origens. Mas em geral não atingem os padrões de qualidade necessários (VALVERDE, 2001).

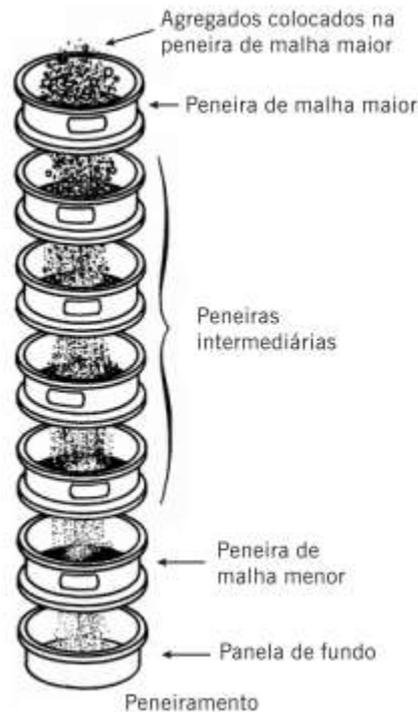
O mesmo autor citado anteriormente diz que é de grande importância o uso de agregados com especificações técnicas adequadas. As características físicas e químicas dos agregados são fundamentais para a estrutura e vida útil das estruturas. O uso inadequado de agregados pode levar à quebra de estruturas.

As qualidades dos agregados de ardósia são alto módulo de elasticidade, alta resistência à tração por tensão, longa vida útil, excelente resistência ao gelo/degelo, alta resistência à abrasão, solidez total quando expostos, baixa absorção, o que permite fácil bombeamento do concreto (CHIODI FILHO & CHIODI, 2014).

De acordo com Bernucci *et al* (2008), os agregados podem ser classificados em três grupos, segundo sua natureza, seu tamanho e sua distribuição de grãos:

- Quanto à sua natureza os agregados podem ser natural, artificial e reciclado. Os agregados naturais são aqueles obtidos de fontes naturais por processos convencionais de desmonte, escavação e dragagem. São exemplos as britas, os pedregulhos, os seixos, as areias etc. Já os agregados artificiais são resíduos de processos industriais, como escória de alto forno e de aciaria. Ou fabricadas com o objetivos de terem alto desempenho como é o caso da argila calcinada e a argila expandida (CABRAL, 2005). Os agregados reciclados são provenientes de reuso de materiais, como reciclagem de revestimentos asfálticos e resíduos de construção civil.
- Os agregados são classificados pelo tamanho para o uso em misturas. São eles graúdos, miúdos e material de enchimento. A norma NBR 7211:2005, que determina especificações para agregados para concreto, estabelece que agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de 150 μ m, em ensaio realizado de acordo com a norma NBR NM 248:2003, são considerados agregados miúdos. Os agregados dos quais passam pela peneira com abertura de malha de 75mm e ficam retidos na peneira com abertura de 4,75mm, são nomeados agregados graúdos. Segundo Bernucci *et al* (2008), o material de enchimento é o material que tem pelo menos 65% de suas partículas menor que 0,075 mm.
- E por fim, quanto à distribuição dos grão dos agregados, que é determinada normalmente por meio de uma análise por peneiramento. Essa análise é realizada através do peneiramento sucessivo do agregado, que passa por peneiras com aberturas de malhas progressivamente menores. A distribuição do graúdo é dada em porcentagem, após pesar todas as partes retidas em cada peneira (BERNUCCI *et al*, 2008).

FIGURA 2- Análise por peneiramento



Fonte: Bernucci *et al* 2008

4.5. Pavimentos Intertravados

O pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas e espessuras limitadas, construídas sobre uma superfície final de terraplanagem. É destinado técnica e economicamente a resistir esforços provenientes do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar conforto, economia e segurança aos usuários (BERNUCCI *et al*, 2008).

Segundo Cruz (2003), as primeiras peças pré-moldadas de concreto foram fabricadas no final do século XIX e algumas patentes foram registradas antes da segunda guerra mundial. A princípio os benefícios das peças eram atrelados ao baixo custo e a facilidade de assentamento. Em seguida foram mudando as formas e o conceito de peças intertravada foi sendo implantado. E por fim os usos do pavimento começaram a ser relacionados às formas geométrica das peças.

O pavimento rodoviário pode ser classificado em flexível, semi rígido e rígido (DNIT, 2006). Mais recentemente há uma tendência de usar-se a nomenclatura pavimentos de concreto de cimento Portland (ou simplesmente concreto-cimento) e pavimentos asfálticos, respectivamente, para indicar o tipo de revestimento do pavimento (BERNUCCI *et al*, 2008).

De acordo com DNIT (2006), os pavimentos flexíveis são aqueles em que todas as camadas sofrem deformação elástica sob carregamento aplicado. A carga se distribui em partes semelhantes entre as camadas. Como por exemplo pavimentos construídos com uma base de brita ou solo pedregulhoso, revestida por uma camada de asfalto.

Os semi rígidos apresentam uma base cimentada por algum material com características cimentícias. Por exemplo por uma camada de solo cimento revestida por uma camada de asfalto.

E os pavimentos rígidos, que apresentam elevada rigidez em relação às demais camadas. E absorve a maior partes das tensões aplicadas. Como por exemplo pavimentos compostos por lajes de concreto Portland.

Pavimentos intertravados não precisam de mão de obra especializada para a sua produção. Além disso, proporciona melhorias estéticas e redução de custos para transportes em vias não pavimentadas. Essas características permitem que essas vias sejam construídas utilizando mão de obra local, o que poderia gerar um aumento na receita familiar (MÜLLER, 2005).

As peças pré-moldadas de concreto promovem condições de conforto, durabilidade e função estrutural do pavimento devido ao intertravamento das peças. Apresentam boas características para evitar escorregamento de pedestres e auxiliar na frenagem de carros (CRUZ, 2003).

Os pavimentos intertravados apresentam algumas características que devem ser ressaltadas, como impedem o aparecimento de eventuais trincas da camada de base, permitem a reutilização de peças de concreto, as peças apresentam alta durabilidade e resistência à abrasão, requerem pouca ou nenhuma manutenção, o material pode ser usado imediatamente, podem ter grande capacidade estrutural e paisagística, apresentam menos absorção solar e baixo aumento de temperatura e é mais permeável, o que permite uma microdrenagem das águas pluviais (ABCP, 2002).

As peças se comportam como uma cama flexível e única no pavimento (ABCP, 2002). A construção do pavimento intertravado é simples, primeiramente assenta-se o bloco sobre uma camada de areia grossa, posteriormente compacta-se a superfície. Distribui-se areia para preenchimento das juntas e compacta-se novamente para que fiquem preenchidas. Dessa forma os pisos ficam intertravados e a propriedade de distribuição de peso melhora de acordo com o uso progressivo do pavimento (SIMIELI *et al*, 2007).

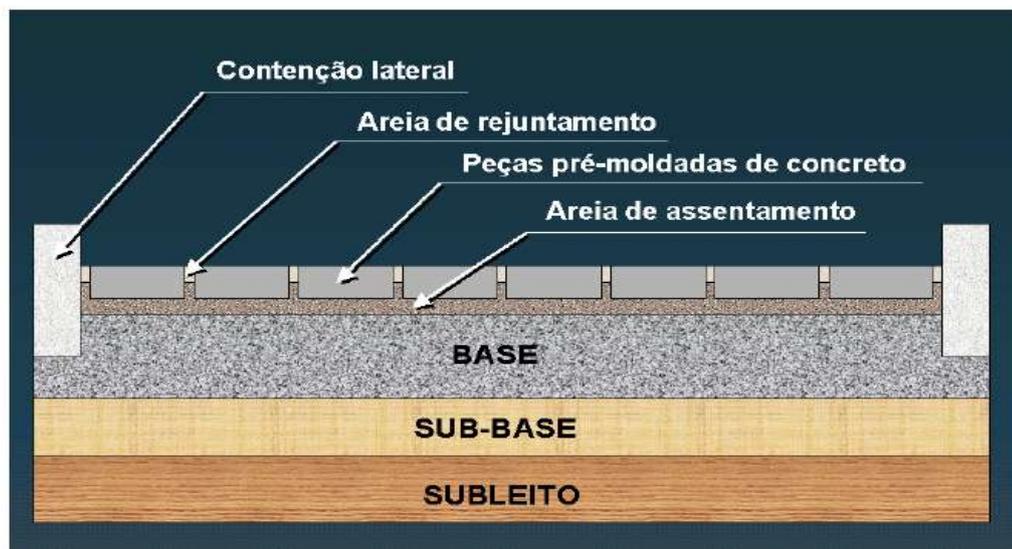
Estudos realizados desde a década de 1980, com a disponibilidade de equipamentos de grande produtividade, a indústria de pavimentos intertravados de concreto cresce em grandes

proporções em todo o mundo. O que era material utilizado apenas em áreas para proporcionar melhores efeitos arquitetônicos ou paisagísticos, começou a dar lugar a um material versátil que possibilita a harmonização com qualquer tipo de ambiente, inclusive o rodoviário e o industrial, estética e estruturalmente (SMITH, 2003, *Apud* SILVA, 2011).

O mesmo autor citado anteriormente expõe que a cada cinco anos nos EUA dobra-se a quantidade em metros quadrados de pavimentos que aplicam esta técnica e afirmou que em 2005 foram utilizados mais de sessenta milhões de metros quadrados nesse país.

A estrutura típica de um pavimento formada pelas camadas constituintes de um pavimento de EPC é apresentada na Figura 3.

FIGURA 3- Estruturas típicas de um pavimento de ECP



Fonte: Hallack, 1998 *Apud* Silva 2011

Recomenda-se que as peças tenham espessura entre 6 e 8 cm para pavimentos com tráfego leve e tráfego de veículos comerciais. Para casos especiais é necessário que a espessura seja de 10 cm e a camada de areia de 3 a 4cm após a compactação (SIMIELI *et al*, 2007).

Este projeto objetiva utilização de resíduos de ardósia na produção de peças de concreto para pavimentação e a caracterização do novo material, levando em consideração as boas características da ardósia e a importância da reutilização do rejeito como matéria prima.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. Materiais

Para a confecção dos pavimentos intertravados em questão foram utilizados os seguintes materiais e respectivas quantidades:

80 litros de brita de calcário zero, 80 litros de brita de calcário 1, 80 litros de brita de ardósia, 160 litros de areia e 80 litros de cimento CPV.

5.2. Método

A metodologia usada foi dividida em 5 etapas: Aquisição de materiais, caracterização da ardósia, caracterização dos agregados naturais, caracterização física das peças de concreto e determinação das propriedades mecânicas das peças (SILVA, 2011).

5.3. Aquisição de materiais

Neste trabalho será estudado o uso de pó e agregados graúdos de ardósia na produção de peças de concreto para pavimentação. Para isso, serão utilizados materiais fornecidos pela empresa Premoldados Padrão LTDA, localizada em Papagaios-MG.

5.4. Caracterização da ardósia e dos agregados naturais

5.4.1. Determinação do teor de umidade

O ensaio para a determinação do teor de umidade das amostras foi realizado de acordo com a NBR 9939 (ABNT, 1987), por secagem, em agregados miúdos e graúdos. As amostras serão secas em estufa (105°C - 110°C), até constância de massa. Foram pesados 500g de três amostras de cada material.

5.4.2. Análise granulométrica

A análise granulométrica foi realizada para definir o tamanho das partículas do material, esta definição foi feita através do peneiramento a seco de uma amostra dos materiais e da pesagem dos grãos retidos em cada uma das peneiras da série normal de peneiras NBR 7211:2005. Foram realizadas análises granulométricas dos seguintes materiais, brita de calcário zero, brita de ardósia zero e areia.

As amostras foram quarteadas e pesadas em balança de precisão. A amostra de 500g foi homogeneizada e previamente seca em estufa na temperatura de (105°C - 110°C), até constância de massa. O material seco foi colocado no conjunto de peneiras de 38 mm a 0,075mm sob agitador, com vibrações de 1,2 mm de amplitude durante 10 minutos. O material retido foi pesado em seguida.

FIGURA 4- Peneiras utilizadas no ensaio de granulometria

Série normal	Série intermediária
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
-	31,5 mm
-	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 µm	-
300 µm	-
150 µm	-

Fonte: ABNT NBR 7211:2005

FIGURA 5 – Ensaio de granulometria



Fonte: Dados da autora

5.4.3. Determinação da massa unitária

Para a determinação da massa unitária (MU) foi utilizado um recipiente previamente limpo, seco e de volume 15,06 dm³. Para o cálculo do volume encheu-se o recipiente de água e em seguida o mesmo foi pesado, considerou-se que 1kg de água equivale a 1dm³.

Primeiramente pesou-se o recipiente vazio em balança adequada. Em seguida o agregado homogeneizado, colocado no recipiente 10 cm acima do fundo, logo após, a superfície foi alisada com uma régua. Para as britas a superfície foi regularizada de modo a compensar saliências e reentrâncias das pedras.

Após esse procedimento foi pesado o recipiente contendo o agregado e calculada a massa unitária. Para o cálculo foi utilizada a equação 1:

$$MU = \frac{M}{V} \quad (1)$$

Sendo M a massa do agregado e V o volume do recipiente.

O ensaio de determinação da massa unitária foi realizado três vezes para cada material. Na figura 6, observa-se o arrasamento com régua da superfície do recipiente contendo os agregados e como fica a superfície após o arrasamento.

FIGURA 6 - Alisamento da superfície com régua



Fonte: Dados da autora

5.4.4. Determinação de massa específica

Os ensaios de massa específica dos agregados foram realizadas de formas diferentes para agregados graúdos e agregado miúdo.

O ensaio de massa específica do agregado miúdo foi realizado de acordo com a norma NBR 9776:87. Colocou-se água até a marca 200 cm³ no frasco de Chapman, em seguida adicionou-se 500 g de areia, previamente seca em estufa, ao frasco, tomando o cuidado para evitar bolhas de ar e espaços vazios. O resultado da massa específica foi calculado a partir da equação 2:

$$\gamma = \frac{500}{L - 200} \quad (2)$$

Sendo L a leitura no frasco de Chapman após a adição de areia.

FIGURA 7 - Ensaio de massa específica de agregado miúdo



Fonte: Dados da autora

O ensaio de massa específica do agregado graúdo foi realizado de acordo com a norma NBR NM 53:2009. O material foi lavado para retirar o pó e seco em estufa até a constância de massa. Pesou-se 2kg do agregado graúdo que foi submergido até sua completa saturação. Pesou-se novamente o material saturado em seguida o mesmo material foi pesado submerso.

Os resultados das massas específicas foram calculados através das equações:

Massa específica do agregado seco:

$$d = \frac{m}{m - m_a} \quad (3)$$

Sendo m a massa em gramas ao ar seco e m_a a massa em água da amostra.

Massa específica do agregado na condição saturado

$$d_s = \frac{m_s}{m_s - m_a} \quad (4)$$

Sendo m_s a massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca.

Massa específica aparente

$$d_a = \frac{m}{m_s - m_a} \quad (5)$$

A absorção de água foi calculada pela equação 6.

$$A = \frac{m_s - m}{m} \times 100 \quad (6)$$

5.4.5. Determinação do teor de material pulverulento

Para a determinação do teor de material pulverulento foi coletada uma amostra de 500g, de cada material, previamente seca em estufa. A amostra foi coberta com água e vertida em peneiras superpostas, sendo lavada até a completa limpeza, com a eliminação das partículas passantes. Foram utilizadas as peneiras 1,2 mm e 0,075 mm de acordo com a norma NBR 7219:1987.

Logo após os materiais foram colocados em recipientes e recobertos com água e deixados em repouso, a fim de permitir que as partículas decantem. A água foi retirada cuidadosamente com o auxílio de uma bisnaga para que não se perdesse as partículas decantadas.

Após o ensaio para determinação de material pulverulento o material foi recolhido, secado em estufa e pesado. O cálculo foi realizado através da equação 7:

$$MP = \frac{M_i - M_f}{M_f} \times 100 \quad (7)$$

Sendo m_i a massa inicial e m_f a massa final.

FIGURA 8- Ensaio de determinação de material pulverulento



Fonte: Dados da autora

5.5. Caracterização física das peças

5.5.1. Determinação das propriedades físicas e mecânicas

Para a caracterização dos elementos de concreto para pavimentação foram ensaiados corpos de prova para cálculo da absorção de água por imersão, índices de vazios, massa específica da amostra seca e da amostra saturada de acordo com NBR 9778:1987.

5.5.2. Determinação da absorção de água

Para realização dos ensaios foram medidas as massas das amostras secas ao ar e as massas secas dos compósitos foram medidas após os corpos de prova permanecerem na estufa.

Completada a secagem em estufa e determinada a massa seca, foi procedida à imersão da amostra em água. Após completar a saturação foi pesou-se em balança hidrostática, anotando as massas das amostras imersas em água, de acordo com a norma NBR 9778:87.

Foram utilizadas seis peças para a determinação da absorção de água dos pavimentos intertravados. Primeiramente pesou-se as peças secas após 24h, 48h e 72h mantidas em estufa.

Em seguida as peças foram imersas em água até completar a saturação e pesadas novamente. As amostras ficaram imersas por 72h, sendo que foi mantida com $\frac{1}{3}$ de seu volume imerso nas primeiras 4 horas e $\frac{2}{3}$ nas 4 horas subsequentes, sendo completamente imersa nas 64 horas restantes. As determinações foram efetuadas após enxugar-se a superfície da amostra com toalha absorvente.

FIGURA 9 - Amostra de pavimento imersa em água por 72 horas



Fonte: Dados da autora

FIGURA 10 - Pesagem de amostra saturada de água



Fonte: Dados da autora

A absorção de água por imersão foi calculada através da equação 8, de acordo com a norma supracitada.

$$Abs = 100 \times \frac{(M_{sat} - M_s)}{M_s} \quad (8)$$

Sendo M_s a massa da amostra seca, M_{sat} a massa da amostra saturada e Abs a absorção de água expressa em porcentagem.

5.5.3. Determinação dos índices de vazios

As amostras saturadas foram imersas em água novamente para a pesagem submersa. Primeiramente tarou-se a bacia apenas com água e em seguida as peças foram inseridas para a pesagem, como mostra a figura 11.

FIGURA 11 - Pesagem da amostra imersa em água



Fonte: Dados da autora

O índice de vazios foi determinado pela relação entre os volumes de poros permeáveis e o volume total e foi calculado, utilizando a equação 9 de acordo com a norma NBR 9778:87

$$I_v = 100 \times \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_i} \quad (9)$$

Sendo m_i a massa do corpo saturado imerso em água e I_v o índice de vazios expresso em porcentagem.

5.5.4. Determinação da massa específica

A determinação das massas específicas foi através da massa do corpo de prova saturado, a massa seca do corpo de prova e a massa do corpo de prova saturado imerso em água. A massa específica seca foi calculada a partir da equação 10, de acordo com a norma NBR 9778:87.

$$\gamma_s = 100 \times \frac{M_s}{M_{sat} - M_i} \quad (10)$$

E a massa específica saturada foi calculada através da equação 11.

$$\gamma_{sat} = 100 \times \frac{M_{sat}}{M_{sat} - M_i} \quad (11)$$

Sendo γ_s a massa específica seca e γ_{sat} a massa específica saturada, ambos expressos em porcentagem.

5.5.5. Determinação da expansibilidade

A determinação da expansibilidade dos elementos foi realizada a partir da análise da estabilidade dimensional para os elementos fabricados em concreto convencional e ardósia, segundo ciclos de molhagem e secagem. A peça foi seccionada em três partes e no centro geométrico dos terços exteriores serão fixados pinos de referência, com graute, que, de acordo com a NBR 15812-1: 2010, é indicado para o preenchimento de espaços vazios de blocos, para a associação de armaduras à alvenaria o que aumenta sua resistência.

Para determinação das medidas entre os pinos de referência, os CP foram colocados em um tanque sob a condição de submersão por um período de 24 horas (e1). Esse procedimento foi repetido para os intervalos de tempo relativo aos três dias (e3 – 72 horas), sete dias (e7 – 168 horas), 14 dias (e14 – 336 horas) e 60 dias (e60 – 1440 horas) após a medida inicial realizada na fixação dos pinos (e0).

Foram utilizadas seis amostras de pavimentos intertravados para o ensaio.

FIGURA 12 - Colocação dos pinos nas amostras



Fonte: Dados da autora

As medidas foram tomadas com o auxílio de um paquímetro conforme a figura 13.

FIGURA 13 - Medida da expansão com paquímetro

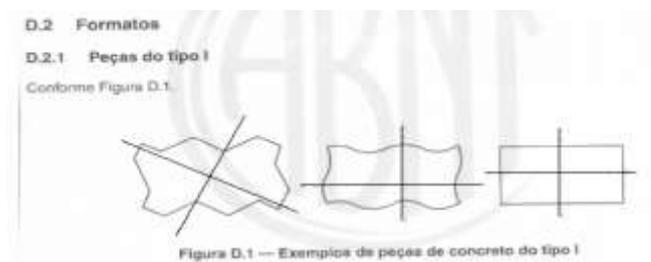


Fonte: Dados da autora

5.5.6. Determinação da uniformidade

O ensaio de uniformidade será realizado de acordo com a NBR 9781: 2013. Para a determinação da uniformidade dos elementos foram medidas as dimensões externas dos elementos. O pavimento intertravado estudado pertence ao grupo de peças tipo I.

FIGURA 14 -Exemplos de medidas para o ensaio de uniformidade



Fonte: NBR 9781:13

5.6. Determinação das propriedades mecânicas das peças

5.6.1. Capeamento

Para a realização do teste da determinação de resistência à compressão é necessário, de acordo com a norma NBR 9781:2013, fazer primeiramente o capeamento das amostras de pisos intertravados para que os mesmos sejam retificados. Os pavimentos do projeto em questão foram capeados com enxofre.

Foram realizados o capeamento de 7 pavimentos intertravados. Aqueceu-se o enxofre em pó e em seguida obteve-se um líquido que foi lançado no capeador, uma mesa lisa, que não

permitia o vazamento do enxofre. O pavimento foi colocado encima do enxofre ainda líquido. Ao secar, o enxofre criou uma camada no pavimento, camada essa necessária para os testes de compressão de acordo com a NBR 7215:96.

FIGURA 15 - Capeamento da peças de pavimentos intertravados



Fonte: Dados da autora

5.6.2. Determinação da resistência à compressão

A determinação da resistência à compressão foi realizada utilizando o equipamento modelo Emic DL30000N. Após o capeamento dos 7 pavimentos intertravados, todos foram colocados separadamente no equipamento. O equipamento foi equipado com dois pratos de aço, sendo fixo o inferior e articulado o superior, com espessuras suficientes para evitar deformação durante o ensaio e capaz de transmitir a carga de modo progressivo e sem choques, contendo duas placas auxiliares, que foram circulares, com diâmetro de 90 mm, confeccionadas de aço, com dureza superficial maior que 60 RC. Suas superfícies não apresentavam afastamento com relação a uma superfície plana de contato, tomada como referência, de mais de 0,01 mm em 90. As placas auxiliares foram acopladas à máquina de ensaio de compressão, uma fixa no prato inferior e outra articulada no superior, de maneira que seus eixos verticais centrais ficaram perfeitamente alinhados.

O equipamento aplicou uma força de compressão na peça até seu rompimento, como pode ser visualizado nas figuras 16 e 17.

FIGURA 16 - Ensaio de compressão dos corpos de prova



Fonte: Dados da autora

FIGURA 17 - Corpo de prova após compressão



Fonte: Dados da autora

A resistência à compressão simples será determinada individualmente para cada corpo-de-prova e expressa pela média de suas repetições. Sua determinação foi especificada pela NBR 9780:1987 que descreve o procedimento de ensaio de determinação da resistência à compressão de elementos pré-moldados de concreto destinados à pavimentação de vias urbanas, pátios de estacionamento ou similares. O carregamento será conduzido continuamente, com velocidade de aplicação entre 300 kPa/s e 800 kPa/s. A resistência à

compressão (em MPa) da peça será obtida dividindo-se a carga de ruptura (em N) pela área de carregamento (em mm²), multiplicando o resultado pelo fator “p”, função da altura da peça.

6. RESULTADOS

Nas etapas seguintes serão realizados ensaios com a brita de calcário zero, brita de ardósia zero, areia e amostras do pavimento.

6.1. Caracterização da ardósia e Caracterização dos agregados naturais

6.1.1. Determinação do teor de umidade

A massa inicial foi de 500 g e mesmo após a permanência na estufa até a constância da massa, nenhum material apresentou alteração na massa. Após a secagem todos mantiveram o peso de 500 g.

6.1.2. Análise granulométrica

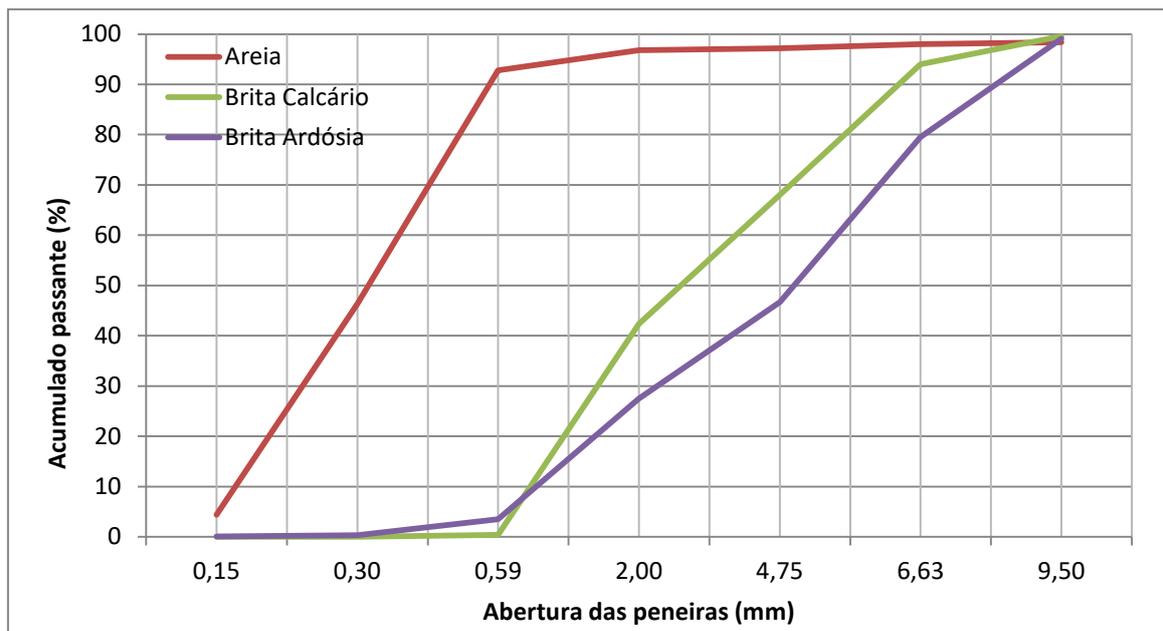
O peso referente à granulometria de cada componente dos materiais se encontram na tabela 1 e no gráfico 1 . O material presente em cada peneira foi retirado e pesado.

TABELA 1 - Peneiras utilizadas no ensaio de granulometria

Peneira	Areia	Brita Calcário	Brita Ardósia
Número	Peso (kg)	Peso (kg)	Peso (kg)
38	0	0	0
19	0	0	0
9,5	0,002	0,028	0,098
6,63	0,004	0,13	0,164
4,75	0,002	0,128	0,096
2	0,02	0,21	0,12
0,59	0,232	0,002	0,016
0,3	0,21	0	0,001
0,15	0,022	0	0,0005
Fundo	0,006	0,008	0,004
Total	0,498	0,498	0,4995

Fonte: Dados da Autora

GRÁFICO 1 - Quantidade de material retido em cada peneira



Fonte: Dados da autora

É possível inferir, de acordo com a norma NBR 7211:2005 que a brita de ardósia é o material que apresenta maior quantidade de agregados graúdos, 358g. E a areia maior quantidade de agregados miúdos, 484g.

A areia apresentou distribuição granulométrica próxima à determinada pela norma NBR 7211:2005. Calculou-se que 57,4 % da brita de calcário e 71,7% da brita de ardósia são agregados graúdos, os materiais também apresentaram distribuição granulométrica aproximada à norma.

6.1.3. Determinação da massa unitária

Após o arrasamento todos os materiais no recipiente foram pesados e na tabela seguinte são apresentados os pesos médios de cada agregado e as massas unitárias:

TABELA 2 - Ensaio de massa unitária

Massa Unitária			
Material	Peso (kg)	Volume Recipiente (dm ³)	Massa Unitária (kg/dm ³)
Brita Ardósia	26,24	15,06	1,74
Brita Calcário	25,32	15,06	1,68
Areia	27,42	15,06	1,82

Fonte: Dados da autora

Os resultados individuais de cada ensaio não apresentaram desvios maiores que 1% em relação à média.

6.1.4. Massa Específica

O ensaio de massa específica para agregado miúdo foi realizado de acordo com a norma NBR 9776:87. Foram realizadas três vezes o mesmo ensaio e os resultados não sofreram variação. Dessa forma, o resultado obtido atende a norma NBR NM 52:2002, que determina que os resultados realizados com a mesma amostra não devem diferir em mais de 0,02 g/cm³ para massa específica.

A leitura para todos os ensaios foi 393 cm³. Sendo assim, a massa específica da areia utilizada para a confecção dos pavimentos intertravados é:

$$\gamma = 2,59 \text{ g/cm}^3$$

O ensaio de determinação da massa específica dos agregados graúdos foram realizados de acordo com a norma NBR NM 53:2009. Na tabela 3 encontra-se os a média dos pesos obtidos. Não ocorreu variações consideráveis.

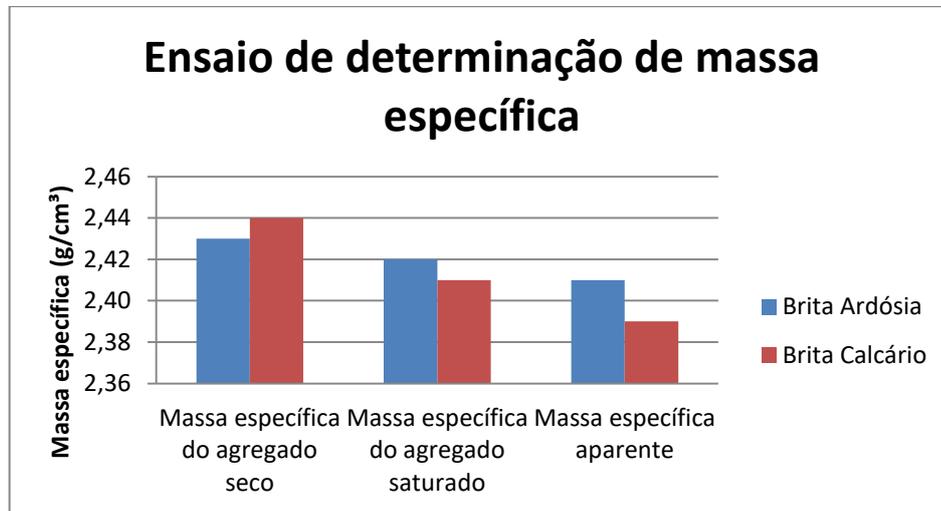
TABELA 3 - Ensaio de determinação de massa específica

Massa específica		
	Brita Arsósia	Brita Calcário
Peso Seco (g)	2000	2000
Peso Saturado (g)	2005,15	2016,62
Peso Imerso (g)	1176,42	1178,88

Fonte: Dados da autora

Após a pesagem foram calculadas as massas específicas, expressas no gráfico 2.

GRÁFICO 2 - Ensaio de determinação de massas específicas



Fonte: Dados da autora

As taxas de absorção de água foram baixas para as duas britas como pode ser visualizado na tabela 4.

TABELA 4 - Taxa de absorção de água

Absorção de água	
Material	Absorção de água (%)
Brita Ardósia	0,3
Brita Calcário	0,8

Fonte: Dados da autora

6.1.5. Determinação de material pulverulento

Os resultados do ensaio de determinação de teor de material pulverulento se encontram na tabela 5.

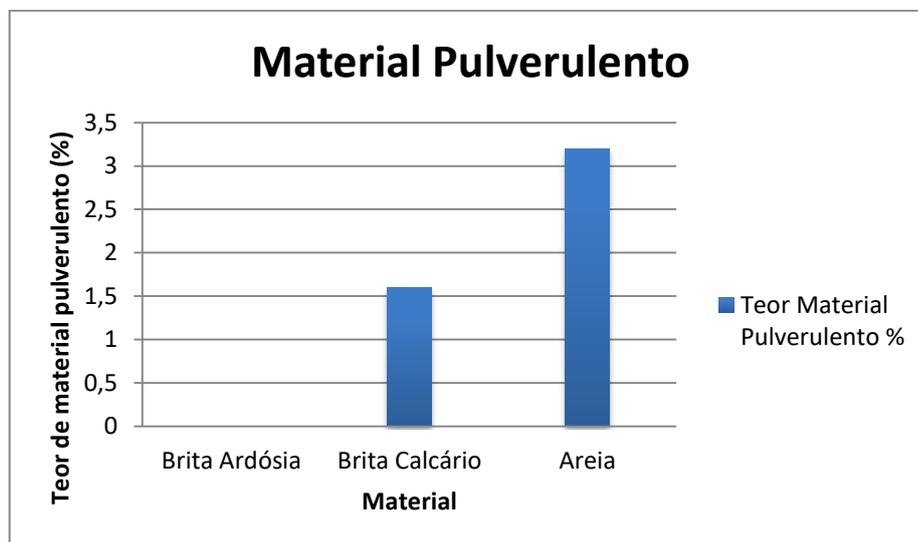
TABELA 5 - Ensaio de determinação de material pulverulento

Material Pulverulento		
Material	Peneira (mm)	
	1,2	0,075
Peso (g)		
Brita Ardósia	500	0
Brita Calcário	492	0
Areia	126	358

Fonte: Dados da autora

A partir dos pesos dos materiais retidos foram calculadas as quantidades de material pulverulento por material, que pode ser visto no gráfico 3.

GRÁFICO 3 - Ensaio de determinação de material pulverulento



Fonte: Dados da autora

De acordo com a NBR 7219:87 material pulverulento são partículas presentes no agregado com dimensões menores que 0,075mm, incluindo os sólidos solúveis em água.

Pode-se inferir que a ardósia não apresentou valores significativos para material pulverulento e que a areia é o material que apresenta a maior quantidade de partículas inferiores a 0,075 mm

6.1.6. Determinação da absorção de água

Foram utilizadas seis peças para a determinação da absorção de água dos pavimentos intertravados. Primeiramente pesou-se as peças secas após 24h, 48h e 72h mantidas em estufa. Os resultados obtidos não divergiram mais que 0,5% sendo o peso médio apresentados na tabela 6:

TABELA 6 - Peso seco

Peso seco	
Nº da amostra	Peso (kg)
1	4,484
2	4,52
3	4,256
4	4,42
5	4,204
6	4,289
Média	4,362167

Fonte: Dados da autora

Após 72 h de permanência na imersão foi verificado que a massa não diferiu mais de 0,5% da massa medida às 48 h. Após completar a saturação foi procedida à pesagem em balança hidrostática, anotando as massas das amostras imersas em água.

Os valores obtidos após a pesagem 72h após imersão foram:

TABELA 7 - Peso saturado após 72h de imersão

Peso saturado	
Nº da amostra	Peso (kg)
1	4,63
2	4,616
3	4,408
4	4,539
5	4,37
6	4,458
Média	4,5035

Fonte: Dados da autora

Dessa forma, obteve-se os resultados contidos na tabela 8.

TABELA 8 - Absorção de água

Absorção de água	
Nº da amostra	Absorção (%)
1	3,26
2	2,12
3	3,57
4	2,69
5	3,95
6	3,94
Média	3,26

Fonte: Dados da autora

Nota-se que a absorção dos pavimentos foram abaixo do limite máximo exigido pela norma NBR 9781:2013, que diz que as amostras devem apresentar absorção de água menor ou igual a 6%. O valor máximo atingido no experimento foi de 3,95% e a média 3,26%. Isso indica que os pavimentos feitos com agregados reciclados, no caso a ardósia, podem apresentar baixa porosidade, e em consequência, uma menor absorção de água.

6.1.7. Determinação do índice de vazios

Durante a pesagem obteve-se os resultados descritos na tabela 9.

TABELA 9 - Peso imerso

Peso imerso	
Nº da amostra	Peso (kg)
1	2,68
2	2,74
3	2,56
4	2,66
5	2,53
6	2,62
Média	2,63

Fonte: Dados da autora

Após a obtenção dos dados foi calculado o índice de vazios de cada amostra.

TABELA 10 - Índice de Vazios

Índice de Vazios	
Nº da amostra	Iv (%)
1	7,48
2	5,13
3	8,24
4	6,33
5	9,03
6	9,19
Média	7,57

Fonte: Dados da autora

A média de índice de vazios das amostras foi 7,57%, sendo o valor máximo 9,19% e o mínimo 5,13%.

6.1.8. Determinação da massa específica

Após a pesagem das amostras secas, saturadas e imersas foram calculadas as massas específica seca e saturada. Os valores obtidos pelos cálculos foram estão expressos na tabela 11.

TABELA 11 - Ensaio de massa específica

Massa específica Seca		Massa específica Saturada	
Nº da amostra	Ys (g/cm ³)	Nº da amostra	Ysat (g/cm ³)
1	2,29	1	2,37
2	2,41	2	2,47
3	2,31	3	2,39
4	23,5	4	2,41
5	2,29	5	2,38
6	2,33	6	2,43
Média	2,33	Média	2,41

Fonte: Dados da autora

As massas específicas secas e saturadas dos corpos de prova não apresentaram diferenças grandes e tiveram como média 2,33% e 2,41% respectivamente.

6.1.9. Determinação da expansibilidade

Utilizou -se seis corpos de prova. Após fixação dos pinos de referência foram determinadas as medidas iniciais (e0).

Não houve alteração das medidas durante o tempo em que as amostras ficaram imersas, portanto não houve expansão mesmo após a saturação da peça, como pode ser visualizado na tabela 12.

TABELA 12 - Ensaio de expansibilidade

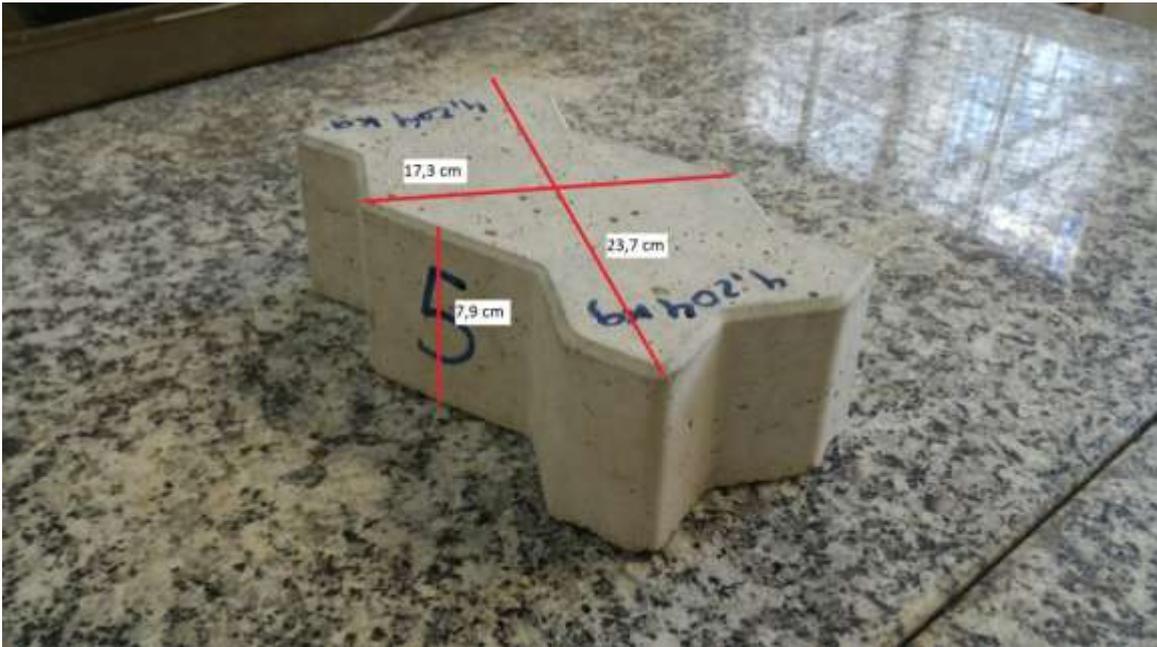
Expansibilidade						
N° da amostra	E0	E1	E3	E7	E 14	E 60
1	111	111	111	111	111	111
2	103	103	103	103	103	103
3	105,5	105,5	105,5	105,5	105,5	105,5
4	107,5	107,5	107,5	107,5	107,5	107,5
5	109,5	109,5	109,5	109,5	109,5	109,5
6	102,5	102,5	102,5	102,5	102,5	102,5

Fonte: Dados da autora

6.1.10. Determinação da Uniformidade

Os pavimentos intertravados são feitos em moldes idênticos. Dessa forma, nenhum pavimento apresentou diferenças nas dimensões. Foram medidas com o paquímetro largura, altura e comprimento de cinco corpos de prova, e todos apresentaram os valores que podem ser visualizados na figura 18.

FIGURA 18 - Ensaio de uniformidade



Fonte: Dados da autora

6.1.11. Determinação da resistência à compressão

O resultado de cada teste se encontra na tabela 13.

TABELA 13 - Ensaio de resistência à compressão

Ensaio de compressão			
Corpo de prova	Força máxima (N)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)
1	215307	6361,7	33,8
2	249482	6361,7	39,2
3	184176	6361,7	29
4	228612	6361,7	35,9
5	244960	6361,7	38,5
6	247743	6361,7	38,9
7	239482	6361,7	37,6
Média	212026	6361,7	36,13

Fonte: Dados da autora

De acordo com a norma a resistência característica à compressão de pavimentos intertravados para tráfego de pedestres, veículos leves veículos comerciais de linha deveria ser de no mínimo 35 MPa.

Nos testes realizados das amostras cinco das amostras apresentaram resistência à compressão maior ou igual a 35 MPa e as duas demais amostras apresentaram valores aproximados. A média da resistência característica à compressão de todas as peças testadas foi 36,13 MPa, valor acima do exigido pela norma 9781:13, atendendo dessa forma a norma.

7. CONCLUSÃO

Os materiais utilizados para a confecção dos pavimentos intertravados não apresentaram umidade e os resultados obtidos nos ensaios de massa unitária não apresentaram desvios maiores que 1 % em relação à média.

A brita de ardósia não apresentou materiais pulverulentos significativos, a brita de calcário apresentou valor próximo a 1,5% e a areia aproximadamente 3,2%.

A distribuição granulométrica da areia e da brita de ardósia apresentou valores próximos à norma, dentro da faixa ideal para a confecção de concreto. Porém é necessário o peneiramento efetivo da brita de calcário, visto que apresentou alta taxa de agregados miúdos.

A massa específica da areia e das britas não apresentaram variações significativas nos três testes realizados. E os agregados graúdos obtiveram baixos valores de absorção de água.

A absorção de água pelos pavimentos foram abaixo do limite máximo exigido pela norma NBR 9781:2013 indicando uma baixa porosidade. O índice de vazios médio dos pavimentos intertravados foi de 7,56%.

A massa específica seca apresentou média de 2,33% e a massa específica saturada média de 2,41%.

Durante o tempo que as amostras com pinos ficaram imersas em água não houve expansão, mesmo após a saturação da peça. Não houve alteração também nas dimensões dos pavimentos, visto que todos são produzidos em moldes idênticos.

A média dos resultados dos ensaios de determinação à compressão dos pavimentos foi 36,13 MPa, acima da resistência mínima determinada pela norma 9781:13, que é 35 MPa.

Avalia-se que a utilização dos rejeitos de ardósia como insumo para a produção de peça de concreto é uma atividade possível e benéfica. Pois a ardósia pode apresentar características adequadas para a confecção das peças e a utilização dos resíduos da ardósia em substituição a agregados graúdos naturais, sendo de grande importância para a redução dos impactos ambientais provocados neste seguimento extrativo.

8. PROPOSTA DE CONTINUIDADE

Para a utilização ótima dos rejeitos de ardósia e produção de pavimentos de qualidade, projetos futuros poderiam analisar e determinar quais granulometrias e a melhor dosagem de aditivos minerais seriam ideais na mistura para produzir peças com propriedades necessárias para atender a todos os requisitos das normas, produzir pavimentos resistentes e promover bem estar e segurança em seu uso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, R. C. L.; RODRIGUES, L. H. V.; FREITAS, E. G. A. **Materiais de Construção**. Rio de Janeiro: EDUR, 2000. 203 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Manual Técnico para Implementação - Habitação 1.0**: bairro saudável. população saudável. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2002. 88 p. Disponível em: <www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2010/01/manual_habitacao_10.pdf> Acessado em 30/10/2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Mudanças climáticas e meio ambiente**. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/conteudo/sustentabilidade/sustentabilidade-do-concreto>> Acessado em: 01/10/2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5738: concreto**: procedimento para moldagem e cura para corpo de prova. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 7211: agregado para concreto**: especificação. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 7215: cimento portland**: determinação da resistência a compressão. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 7219: agregados**: determinação do teor de materiais pulverulentos. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 9776: agregados**: determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco chapmann. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 9778: argamassa e concreto endurecidos: determinação da absorção de água por imersão**: índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 9780: peça de concreto para pavimentação**: determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 9781: peça de concreto para pavimentação**: especificação. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 9939: agregados: determinação do teor de umidade total, por secagem, em agregados graúdos:** método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 15812-1: Alvenaria estrutural:** blocos cerâmicos. Rio de Janeiro, 2003

_____. **NBR NM 52: agregado miúdo:** determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 53: agregado graúdo:** determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 77: concreto:** preparação das bases dos corpos de prova e testemunhos cilíndricos para ensio de compressão. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR NM 248: agregados:** determinação da composição granulométrica, Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO DOS MINERADORES E BENEFICIADORES DE ARDÓSIA DE MINAS GERAIS – AMARMG. **Propriedades da Ardósia.** Disponível em: <
<http://www.amarmg.com.br>> Acessado em: 30/09/2015.

BARBOSA, F. R. et al. **Análise da Influência do Capeamento de Corpo-de-Prova Cilíndrico na Resistência à Compressão do Concreto.** In: 51º Congresso Brasileiro de Concreto. **Anais...** Recife, 2009. Disponível em:
<<http://vieiramota.com.br/arq/artigos/trabalho%20capeamento%20enviado.pdf>> Acessado em 30/10/2016.

BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação Asfáltica:** formação básica para engenheiros. 1. ed. Rio de Janeiro: PETROBRAS/ABEDA, 2008.

CABRAL, G. L. L. **Metodologia de produção e emprego de agregados de argila calcinada para pavimentação.** 2005. 358 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2005.

CARRUSCA, O. E. **Aproveitamento industrial de resíduos de ardósia como insumo mineral na fabricação de cimento.** 2001. 187 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG, Belo Horizonte, 2001.

CARVALHO, G. M. X et al. Obtenção de Compósitos de Resíduos de Ardósia e Polipropileno. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, Minas Gerais, vol. 17, n. 2, p. 98-103, 2007.

CHIODI FILHO, C.; CHIODI, D. K. **Plano de ação para sustentabilidade do setor de rochas ornamentais - Ardósia em Papagaios:** implementação do plano de ação. [Minas Gerais]: Kistemann & Chiodi Assessoria e Projetos, 2014, v. 1.

CHIODI FILHO, C.; RODRIGUES, E.P.; ARTUR, A.C. Ardósias de Minas Gerais, Brasil: características geológicas, petrográficas e químicas. **Geociências**, São Paulo, v.22, n.2, p. 119-127, 2003. Disponível em: <http://www.revistageociencias.com.br/22_2/2.pdf> Acessado em 30/10/2016.

CRUZ, L. O. M. **Pavimento Intertravado de Concreto:** estudo dos elementos e métodos de dimensionamento. 2003. 281 p. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: <http://wwwwp.coc.ufrj.br/teses/mestrado/geotecnia/2003/teses/cruz_lom_03_t_m_geo.pdf> Acessado em 30/10/2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Manual de Pavimentação**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 274 p.

FREITAS, V. L. de O. **Restauração de áreas degradadas pela extração de ardósia, utilizando seus rejeitos, no município de Papagaio, Minas Gerais.** Tese (Doutorado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2012.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – FEAM. **Gestão de passivos ambientais na mineração:** plano de ação para a sustentabilidade do setor de rochas ornamentais – ardósia Papagaios. 83 p. Fundação Estadual do Meio Ambiente, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/arquivos/producaosustentavel/plan%20acao_rochas_ornamentais_ardosia.pdf> Acessado em: 01/09/2015.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – FEAM. **Guia Técnico Ambiental da Indústria de Rochas / Fundação Estadual do Meio Ambiente, Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais.** Belo Horizonte: FEAM, 2015. 60p. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/2015/producao_susatentavel/guias-tecnicos-ambientais/guia-rochas.pdf> Acessado em 30/10/2016.

HALLACK, A. **Dimensionamento de Pavimentos com Revestimento de Elementos Pré-Moldados de Concreto para Áreas Portuárias e Industriais**. 1998. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

HELENE, P.; ANDRADE, T. Concreto de Cimento Portland. In: ISAIA, Geraldo (Org.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 2 ed. IBRACON, 2010. v.1 & v.2. p. 945-984. Disponível em: <<http://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/07/lc48.pdf>> Acessado em 30/10/2016.

ISAIA, G. C.; GASTALDINI, A. L. G. Perspectivas Ambientais e Econômicas do Concreto com Altos Teores de Adições Mineraias: um estudo de caso. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 4, n. 2, p. 19-30, 2004.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto Microestrutura, Propriedade e Materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008. 674 p.

MENEZES, A. J. R. **Estudo Comparativo Entre Capeamento de Corpo-de-Prova de Concreto com Enxofre, Uso de Neoprene e Retificação de Topo Para Ensaio de Resistência à Compressão Axial**. 2011. 58 p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011. Disponível em: <www.deecc.ufc.br/download/projeto_de_graduacao/2011/alexandre_menezes_estudo%20comparativo%20entre%20capeamento%20de%20corpo_de_prova%20de%20concreto%20com%20enxofre.pdf> Acessado em 30/10/2016.

MENOSSE, R. T. **Utilização de pó de pedra basáltica em substituição à areia natural de concreto**. 2004. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de São Paulo, Ilha Solteira, 2004.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. **Desenvolvimento de Estudos Para Elaboração do Plano Duodecenal (2010-2030) de Geologia Mineração e Transformação Mineral**. Brasília: 2009.

MÜLLER, R. M. **Avaliação de Transmissão de Esforços em Pavimentos Intertravados de Blocos de Concreto**. 2005. 234 p. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

OLIVEIRA, M. C de A.; RODRIGUES, E. de P.; ARTUR, A. C. Ardósia Como Matéria Prima Para Cerâmica. In: 44º Congresso Brasileiro de Cerâmica. **Anais...** São Pedro / SP, 2000.

PABLOS, J. M.; SICHIERI, E. P.; ZAGO, M. S. A. Estudo Para Utilização de Resíduos Sólidos Industriais, Gerados Pelos Descartes de Areia de Fundação Aglomerada com Argila e pela Escória de Alto-Forno, Na Composição de Concretos. In: VI Encontro Nacional e IV Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. **Anais...** Vitória, 2011.

PALHARES, L.B.; MOREIRA, B. H. M.; PERIN, P. C. D. Reaproveitamento de Resíduos de Ardósia na Fabricação de Peça Cerâmicas pela Técnica de Colagem de Barbotinas. **Pós em Revista do Centro Universitário Newton Paiva**, 6. ed. Belo Horizonte: p.157-161, 2012. Disponível em <<http://blog.newtonpaiva.br/pos/wp-content/uploads/2013/04/pdf-e6-eng18.pdf>> Acessado em 30/10/2016.

PEREIRA, M. S. **Controle da Resistência do Concreto: paradigmas e variabilidade - estudo de caso**. 2008. 229 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

SANTOS, C. G.; PALHARES, L.B.; ROSA, E.D.C.; CRUZ, E. F.; COSTA, M.M. Adição de Rejeitos de Extração de Ardósia em Concreto. **Pós em Revista do Centro Universitário Newton Paiva**, 8. ed. Belo Horizonte: p. 100-103, 2013. Disponível em <https://issuu.com/publicanewton/docs/pos_em_revista_numero_8> Acessado em 30/10/2016.

SILVA, M. J. **Elementos de Concreto para Pavimentação Produzidos com Agregados de Escória de Aciaria**. 2011. 130 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Federal Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

SILVA, M. J. et al. Influência de Dois Tipos de Capeamento de Corpos de Prova de Concreto. In 53º Congresso Brasileiro do Concreto. **Anais...** Florianópolis, 2011.

SIMIÉLI, D. et al. Utilização de Agregados Reciclados em Pavimentos Intertravados. **Exacta**, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 231-241, jul./dez. 2007. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81050204>> Acessado em: 30/10/2016.

SMITH, D. R. Grand Entrances. **Interlocking Concrete Pavement Magazine**. v. 10, n. 2, p. 4. 2003.

SOUZA, L.P.; MANSUR, H. S. Caracterização de Pó de Ardósia Proveniente de Rejeitos Quanto a Cristalinidade a Comportamento Térmico. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. **Anais...** São Pedro/SP, 2000 Disponível em: <www.ipen.br/biblioteca/cd/cbecimat/2000/docs/tc101-048.pdf> Acessado em 30/10/2016.

VALVERDE, F. M. Agregados Para Construção Civil. In: **Balanco Mineral Brasileiro 2001**. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral, 2001. Disponível em: <www.dnpm.gov.br/dnpm/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001/@@download/file/balanco_mineral_2001.pdf> Acessado em 30/10/2016.