



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

**CARACTERIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS DE  
REJEITOS DE ARDÓSIA PARA FABRICAÇÃO DE TUBOS DE  
CONCRETO**

**JÚLIA PIAZI DE LIMA**

Orientador: Prof M.Sc Evandro Carrusca de Oliveira  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG

Coorientador: Prof M.Sc Mateus Justino da Silva  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG

BELO HORIZONTE  
2015

**JÚLIA PIAZI DE LIMA**

**CARACTERIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS DE  
REJEITOS DE ARDÓSIA PARA FABRICAÇÃO DE TUBOS DE  
CONCRETO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Evandro Carrusca de Oliveira  
Centro Federal de Educação Tecnológica  
de Minas Gerais – CEFET-MG

Coorientador: Mateus Justino da Silva  
Centro Federal de Educação Tecnológica  
de Minas Gerais – CEFET-MG

BELO HORIZONTE  
2015

# Agradecimentos

É difícil agradecer todas as pessoas que de algum modo, nos momentos serenos e ou apreensivos, fizeram ou fazem parte da minha vida, por isso agradeço à todos de coração.

Agradeço a Deus por permitir que tudo isso acontecesse ao longo de minha vida e não somente nestes anos como universitária. Em todos os momentos, ELE é o meu grande Mestre, o maior Mestre que alguém pode conhecer.

Agradeço aos meus pais pelo suporte, atenção e paciência dedicados ao longo desse período de graduação. Foram muitos os momentos de aflição, trabalho pesado e dedicação e eles estavam sempre me apoiando e me impulsionando para frente. A eles vai o meu mais sincero OBRIGADO!

A todos os professores e em especial ao meu orientador Evandro Carrusca e meu co orientador Mateus Justino da Silva, por exigirem de mim muito mais do que eu supunha ser capaz de fazer. Agradeço por transmitirem seus conhecimentos e por fazerem da minha monografia uma experiência positiva, confiando em mim e dedicando parte do seu tempo para minha orientação.

Agradeço a todos os professores por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação de caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, por tanto que se dedicaram a mim, não somente por terem me ensinado mas por terem me feito aprender. A palavra mestre nunca fará justiça aos professores dedicados aos quais sem nominar terão os meus eternos agradecimentos.

Meus sinceros agradecimentos ao Romero Valadares, que acreditou na proposta de uma aluna universitária e seu orientador envolvendo pesquisa tecnológica das manilhas fabricadas em sua empresa em Papagaios-MG, possibilitando a verdadeira integração entre Empresa e Instituição de Ensino em prol do crescimento profissional do estudante. Integração esta tão importante na minha formação acadêmica e tecnológica.

Aos meus amigos, pela força e compreensão nos momentos que os finais de semana viraram maratona TCC. Agradeço por terem me feito rir quando o cansaço se instalava. E por compartilharem comigo os choros de emoção a cada etapa vencida.

Ao Lucas, pela confiança, ajuda e paciência nos momentos que tudo parecia que iria desandar. Obrigado por ter estado comigo nos momentos que eu mais precisava.

*“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”*  
Arthur Schopenhauer

## Resumo

A mineração de ardósia ocorre na região centro sul de Minas Gerais, envolvendo 9 municípios com destaque a cidade de Papagaios conhecida como a capital da ardósia, e juntos são responsáveis por 90% da produção nacional de ardósia no Brasil. Esta atividade, entretanto, traz grandes impactos ao meio ambiente, já que são necessários remoção de grandes quantidades de solo até atingir a rocha desejada. Além disso, são utilizados apenas os materiais sem quebras ou fissuras e qualquer fratura torna aquela rocha imprópria para ser comercializada. O que se sugere para estes resíduos é seu reaproveitamento em construção de manilhas justamente pela quantidade de material disponível na área. O presente trabalho caracteriza os reciclados de ardósia e os materiais convencionais. Os reciclados de ardósia foram caracterizadas por determinação da granulometria, da massa específica, da massa unitária e do teor de material pulverulento. Foram fabricados corpos de prova (CP) com a substituição parcial e total dos agregados miúdos e graúdos de materiais convencionais por materiais reciclados de ardósia. Os corpos de prova também foram caracterizados fisicamente pelos ensaios de absorção de água e massa específica. A presença de reciclados de ardósia apresentou valores de resistência a compressão maiores em relação ao convencional. Os resultados deste trabalho indicam que podem ser confeccionados manilhas de concreto com a substituição parcial e total dos agregados naturais.

**Palavras-chave:** ardósia, ensaios tecnológicos, impactos ambientais, cimento, pó de brita.

## Abstract

Mining slate occurs in the south center region of Minas Gerais, involving nine municipalities especially the city of Papagaios known as the capital of the slate, and together account for 90 % of national slate production in Brazil. However, this activity causes major impacts on the environment since they require removal of large quantities of soil to achieve the desired rock. Moreover, only rocks without any breaks or cracks and fracture are used, and the presence of them make it inappropriate to be marketed. The suggestion for these wastes is its reuse in shackles construction as an utilization for so many materials. This study characterizes the recycled slate and conventional materials. Recycled slate were characterized by determination of particle size, the density and the powdery material content. It was made specimens (CP) with the partial and total substitution of fine and grown aggregates of conventional materials with recycled slate materials. The samples were also characterized physically by water absorption tests and density. The presence of recycled slate increased compression strength comparing to conventional specimens. These results indicate that may be made concrete shackles with the partial and total substitution of natural aggregates.

**Keywords:** slate, technological tests, environmental impacts, cement, crushed slate stone powder.

## Lista de Figuras

Figura 1 – Variações cromáticas da ardósia (FEAM, 2014). . . . .	7
Figura 2 – Frente de larva de ardósia cinza, evidenciando a regularidade e horizontalidade do piso (FEAM, 2014). . . . .	7
Figura 3 – Frente de lavra de ardósia cinza desenvolvida em bancada ou degrau único sucessivo (FEAM, 2014). . . . .	8
Figura 4 – Rejeitos deixados na pedreira ou dispostos de forma incorreta (FEAM, 2014). . . . .	10
Figura 5 – Impactos ambientais na lavra. Fonte: Souza, 2007. . . . .	11
Figura 6 – Fluxograma do programa experimental desenvolvido. Adaptado: Silva (2011). . . . .	18
Figura 7 – Agregados miúdos naturais e reciclados utilizados no experimento. . . . .	19
Figura 8 – Agregados graúdos utilizados no experimento. . . . .	19
Figura 9 – Determinação da massa unitária da areia utilizando recipiente previamente determinado. . . . .	21
Figura 10 – Granulometria do material agregado miúdo areia convencional passando pela sequência de peneiras descritas anteriormente. . . . .	23
Figura 11 – Betoneira utilizada para fazer a mistura concreto e teste de slump feito. . . . .	24
Figura 12 – Forma utilizada para moldagem dos corpos de prova. . . . .	25
Figura 13 – Ensaio de compressão realizado pelo equipamento PCM100C, prensa hidráulica de acionamento manual. . . . .	27
Figura 14 – Ensaio de tração por meio de ensaio de compressão diametral realizado no equipamento PCM100C. . . . .	28
Figura 15 – Resultado de massa unitária encontrada para agregados miúdos e graúdos utilizados. . . . .	29
Figura 16 – Resultados de massa específica dos agregados utilizados. . . . .	30
Figura 17 – Resultados de material pulverulento para os agregados miúdos. . . . .	31
Figura 18 – Resultados de granulometria para agregados miúdos. . . . .	32
Figura 19 – Resultados de granulometria para agregados graúdos. . . . .	33
Figura 20 – Resultados de absorção de água encontrados para os corpos de prova. . . . .	33
Figura 21 – Resultados de massa específica seca dos corpos de prova. . . . .	34
Figura 22 – Resultados de massa específica saturada dos corpos de prova. . . . .	35
Figura 23 – Resultados de resistência a compressão dos corpos de prova. . . . .	36
Figura 24 – Resultados de resistência a tração dos corpos de prova. . . . .	36

## Lista de Tabelas

Tabela 1 – Composição mineralógica modal das ardósias da Província de Ardósia de Minas Gerais . . . . .	6
Tabela 2 – Peneiras utilizadas no ensaio de granulometria. . . . .	16
Tabela 3 – Caracterização do cimento portland ARI (CPV) utilizado. . . . .	20
Tabela 4 – Proporções de materiais utilizados para a moldagem de CPs . . . . .	24
Tabela 5 – Análise granulométrica dos agregados miúdos utilizados – NBR 7217/87 . . . . .	31
Tabela 6 – Análise granulométrica dos agregados graúdos utilizados – NBR 7217/87 . . . . .	32

# Sumário

<b>1 – Introdução</b> . . . . .	<b>1</b>
<b>2 – Objetivos</b> . . . . .	<b>3</b>
2.1 Gerais . . . . .	3
2.2 Específicos . . . . .	3
<b>3 – Referencial Teórico</b> . . . . .	<b>4</b>
3.1 Ardósia . . . . .	4
3.1.1 Definição . . . . .	4
3.1.2 Região produtora . . . . .	4
3.1.2.1 Características da rocha . . . . .	5
3.1.3 Lavra e beneficiamento . . . . .	7
3.1.4 Aspectos econômicos da extração . . . . .	8
3.2 Impactos ambientais . . . . .	9
3.2.1 Resíduos . . . . .	10
3.2.2 Poluição visual . . . . .	11
3.2.3 Efluentes líquidos . . . . .	12
3.3 Reaproveitamento . . . . .	12
3.4 Concreto . . . . .	13
3.4.1 Definição . . . . .	13
3.4.2 Cimento Portland . . . . .	13
3.4.3 Agregados naturais . . . . .	14
3.4.3.1 Agregados quanto a origem . . . . .	14
3.4.3.2 Agregados quanto à dimensão dos grãos . . . . .	15
3.4.3.3 Massa unitária . . . . .	15
3.4.3.4 Composição granulométrica . . . . .	15
3.4.3.5 Absorção . . . . .	16
3.4.3.6 Substâncias nocivas nos agregados . . . . .	16
<b>4 – Metodologia</b> . . . . .	<b>18</b>
4.1 Materiais . . . . .	19
4.1.1 Aquisição das matérias primas . . . . .	19
4.2 Métodos . . . . .	20
4.2.1 Caracterização da ardósia . . . . .	20
4.2.1.1 Determinação da massa unitária . . . . .	20
4.2.1.2 Determinação de massa específica . . . . .	21

4.2.1.3	Determinação do teor de material pulverulento . . . . .	22
4.2.1.4	Análise granulométrica . . . . .	22
4.2.1.5	Dosagem do traço dos elementos . . . . .	23
4.2.1.6	Moldagem e cura dos elementos . . . . .	24
4.2.2	Determinação das propriedades físicas e mecânicas dos corpos de prova . . . . .	25
4.2.2.1	Determinação da absorção de água . . . . .	25
4.2.2.2	Determinação das massas específicas . . . . .	26
4.2.2.3	Determinação da resistência à compressão . . . . .	26
4.2.2.4	Determinação da resistência à tração . . . . .	27
<b>5</b>	<b>– Resultados . . . . .</b>	<b>29</b>
5.1	Caracterização dos materiais . . . . .	29
5.1.1	Massa unitária . . . . .	29
5.1.2	Massa específica . . . . .	30
5.1.3	Material pulverulento . . . . .	30
5.1.4	Granulometria . . . . .	31
5.2	Determinação das propriedades físicas e mecânicas dos corpos de prova	33
5.2.1	Absorção de água . . . . .	33
5.2.2	Massa específica seca . . . . .	34
5.2.3	Massa específica saturada . . . . .	34
5.2.4	Resistência a compressão . . . . .	35
5.2.5	Resistência a tração . . . . .	36
<b>6</b>	<b>– Conclusões . . . . .</b>	<b>38</b>
<b>7</b>	<b>– Sugestão de trabalhos futuros . . . . .</b>	<b>40</b>
	<b>Referências . . . . .</b>	<b>41</b>

# 1 Introdução

A mineração caracteriza-se hoje como um dos pilares da economia nacional, proporcionando desenvolvimento interno e servindo como subsídio para o progresso internacional. O Brasil está hoje entre os maiores produtores de ardósia do mundo, sendo Minas Gerais responsável por cerca de 90% dessa produção (500 mil toneladas por ano) e correspondendo quase a totalidade da exportação brasileira (SANTOS et al, 2013).

As propriedades físicas da ardósia, como baixa porosidade, clivagem preferencial, alta resistência mecânica e minerais constituintes resistentes ao intemperismo permitem sua ampla utilização como revestimento. Ardósias constituem, assim, um recurso mundialmente conhecido e de largo emprego para edificações (AMARMG, 2015).

Em Minas Gerais, na região centro sul do estado, ocorrem importantes depósitos de ardósia de alta qualidade. Essa região, designada Província da Ardósia de Minas Gerais, compreendendo aproximadamente 7000km<sup>2</sup>, engloba os municípios de Papagaio, Felixlândia, Caetanópolis, Pitangui, Martinho Campos, Paraopeba, Leandro Ferreira e Curvelo em sua totalidade de área ou parcialmente. De acordo com FEAM (2014), existem 80 cavas de ardósia na região das quais 30 em atividade e 50 paralisadas, sendo que algumas das frentes ativas ocupam hoje apenas uma fração de cavas maiores e mais antigas. Do total de 80 frentes, 30 estão localizadas no Município de Papagaios, 12 em Felixlândia, 13 em Paraopeba, 6 em Curvelo, 6 em Pompeu, 4 em Martinho Campos, 6 em Leandro Ferreira, 2 em Caetanópolis e 1 em Pitangui.

O ônus dessa atividade, porém, têm sido pago pelo meio ambiente, que sofre impactos que podem ser irreversíveis. A taxa de recuperação na lavra de ardósia é bastante baixa não ultrapassando 10-15% na fase de pleno desenvolvimento de uma pedreira (AMARMG, 2015), sendo os resíduos provenientes dessas atividades lançados em corpos d'água, em bota foras ou em esquinas próximas das cidades extratores da ardósia, comprometendo a qualidade dos serviços ambientais.

As perdas de material ocorridas durante a lavra de ardósia são representadas pela grande quantidade de resíduos gerada. Esses resíduos, sem um planejamento, serão dispostos em locais inadequados causando impactos ambientais. Nesse cenário, diversas alternativas de aproveitamento industrial têm sido estudadas, e nesse projeto, o enfoque vai ser sobre o aproveitamento desses resíduos como aditivos para produção de manilhas.

A estruturação deste trabalho vai ser feita por capítulos, onde:

O primeiro capítulo se trata de uma breve introdução sobre o assunto, inclusive a motivação e importância do desenvolvimento deste trabalho.

O segundo capítulo apresenta os objetivos gerais e específicos deste projeto.

O terceiro capítulo abordará o referencial teórico. Assuntos abordados incluem definição de ardósia, locais produtores de ardósia no Brasil, como é feita a lavra e beneficiamento da rocha ornamental, dados econômicos da exploração e as características das rochas encontradas, impactos ambientais referentes a lavra e disposição dos resíduos e como têm sido feito o reaproveitamento destes.

O quarto capítulo descreve a metodologia abordada. Relata materiais e métodos utilizados bem como os testes feitos e em quais condições ocorreram.

O quinto capítulo apresenta os resultados obtidos depois de realizados todos os testes e comparados os resultados.

O sexto capítulo apresenta as considerações finais obtidas.

O sétimo capítulo apresenta as sugestões para trabalhos futuros visando aprofundamento em alguns resultados obtidos.

## 2 Objetivos

### 2.1 Gerais

Este trabalho tem como objetivo estudar o uso do resíduo de ardósia em substituição a agregados naturais para fabricação de tubos de seção circular para águas pluviais e esgotos domésticos comercializados pela empresa Pré Moldados Ltda.

### 2.2 Específicos

- Caracterizar física e quimicamente os rejeitos de lavra de ardósia utilizados pela empresa Pré Moldados Ltda, localizada em Papagaios- MG;
- Confeccionar corpos de prova a fim de avaliar os parâmetros relacionados a absorção, porosidade e resistência dos corpos de prova para produção de manilhas com substituição de agregados naturais oriundos de granito ou gnaisse por agregados reciclados de ardósia.

## 3 Referencial Teórico

### 3.1 Ardósia

#### 3.1.1 Definição

Segundo Filho et al (2003), ardósias são rocha de derivação sedimentar e granulção final, que desenvolvem planos preferenciais de laminação correspondentes a "clivagem ardosiana". A clivagem ardosiana deriva de uma forte orientação planar preferencial de escamas de mica branca e de clorita. Macroscopicamente, é caracterizada pela quebra das rochas em planos paralelos e regulares.

Segundo o CETEC (1984): *"a ardósia caracteriza-se como um rocha metassedimentar, de granulometria da argila, com desenvolvimento de planos de clivagem muito perfeitos, denominados clivagem ardosiana, responsável pela fácil partição segundo esses planos"*.

Tem grande utilização como revestimento devido a suas propriedades físicas, como:

1. Clivagem preferencial;
2. Dureza média;
3. Baixa porosidade;
4. Alta resistência mecânica;
5. Minerais constituintes resistentes ao intemperismo: a presença de mica branca, quartzo, clorita, grafita e/ou material carbonoso, que são estáveis e resistentes a agentes químicos agressivos, garantem a durabilidade do revestimento (AMARMG, 2015).

Apresenta também como característica padrões cromáticos variados proporcionados por faces polidas ou naturais. Pode-se acrescentar também que a ardósia se destaca inclusive no revestimento interno porque apresenta afinidade estética com a madeiras, metais e tapeçarias (FILHO et al, 2003).

#### 3.1.2 Região produtora

A região sudeste do Brasil detêm a liderança nacional na área de rochas ornamentais e de revestimento, correspondendo a 75% da produção (FEAM, 2014). Quanto a produção de ardósia, mais especificamente, Minas Gerais e Santa Catarina são os

principais produtores sendo Minas Gerais responsável por aproximadamente 90% da produção nacional (CARRUSCA, 2001).

A região produtora foco desse trabalho é denominada 'Província de Ardósia de Minas Gerais', e compreende uma área de 7000 km<sup>2</sup> na região centro-sul do estado (CHIODI FILHO et al, 2003). O setor movimenta cerca de 400 empresas de lavra e beneficiamento com cerca de 6 a 7 mil empregos diretos e indiretos.

Essa atividade mineradora teve início na década de 70, com incremento na década de 80. O crescimento da produção ocorreu devido a pressões internacionais de demanda (FEAM, 2014).

A Província de Ardósia de Minas Gerais insere-se em uma área poligonal, abrangendo total ou parcialmente os municípios de Papagaio, Curvelo, Pompeu, Paraopeba, Caetanópolis, Felixlândia, Leandro Ferreira, Martinho Campos e Pitangui. O principal foco de extração e beneficiamento de ardósias é o município de Papagaios (60% da produção), com ardósias cinza, na maior parte (FEAM, 2014).

De acordo com FEAM (2014), existem 80 cavas de ardósia na região das quais 30 em atividade e 50 paralisadas, sendo que algumas das frentes ativas ocupam hoje apenas uma fração de cavas maiores e mais antigas. Do total de 80 frentes, 30 estão localizadas no Município de Papagaios, 12 em Felixlândia, 13 em Paraopeba, 6 em Curvelo, 6 em Pompeu, 4 em Martinho Campos, 6 em Leandro Ferreira, 2 em Caetanópolis e 1 em Pitangui.

#### 3.1.2.1 Características da rocha

A sequência sedimentar do Grupo Bambuí, que contém as ardósias de Minas Gerais é dotada do Proterozóico Superior (600-500 milhões de anos) e tem desenvolvimento associado ao Ciclo Tectônico Brasileiro (THOMAZ FILHO et al, 1998 apud FILHO et al, 2003).

As ardósias do grupo Bambuí são rochas de granulação fina, apresentando-se em cores verde, roxa, cinza, grafite, negras e ferrugem. Mais de 50% dos grãos constituintes têm tamanho superior a 0,06mm, com 30% a 60% na dimensão de argila (GROSSI-SAD et al, 1998).

Por situarem-se em áreas mais estáveis tectonicamente do grupo Bambuí, as ardósias resultantes ocorrem sem fortes efeitos de deformação tectônica e as camadas mantêm-se perfeitamente horizontais (CETEC, 1984 apud CARRUSCA, 2001).

Os principais constituintes das ardósias incluem minerais como a mica branca (sericita), quartzo, clorita, grafita e/ou material carbonoso, que são bastante estáveis e resistentes a agentes químicos agressivos, garantindo grande durabilidade aos revestimentos aplicados (AMARMG, 2015). A Tabela 1 mostra a proporção de minerais

para cada tipo de ardósia. A variação desses constituintes mineralógicos determina a existência de diferentes padrões cromáticos, destacando-se as ardósias cinzas, grafite, negras, verdes e vinho, além das denominadas ardósias ferrugem ou multicolor (Figura 1).

Tabela 1 – Composição mineralógica modal das ardósias da Província de Ardósia de Minas Gerais

Minerais (%)	Ardósia negra	Ardósia cinza	Ardósia verde
Quartzo	24 a 26	26 a 30	30 a 32
Mica branca	31 a 33	32 a 34	34 a 36
Clorita	20 a 23	18 a 20	18 a 20
Feldspato	12 a 15	12 a 15	14 a 15
Carbonato	3 a 5	2 a 3	0,5 a 1
Óxido de ferro	2 a 3	2 a 3	2 a 3
Material carbonoso	0,5 a 1	0,2 a 0,6	<0,1

Cada tipo de padrão cromático apresenta características específicas, como (REZENDE, 2012):

1. Ardósias verdes têm aspecto e textura síltica, com planos de estratificação sinuosos e planos de partição algumas vezes rasgados. A clorita é muito fina e associada a mica branca forma a matriz dessa rocha. Pode ser observado ainda, um tipo raro de pirita em cristais idiomórficos geralmente cúbicos, com dimensões superiores a 1cm.
2. Ardósias cinzas exibem cor uniforme e planos de estratificação que podem ser vistos no microscópio, sendo a matriz constituída por uma massa branca de mica branca e clorita verde-clara (REZENDE, 2012). A estratificação é fina e perfeita e a clivagem é definida por escamas alongadas de mica branca.
3. Ardósias negras ou grafites tem um estratificação fina e perfeita e a clivagem é definida por escamas alongadas de mica branca. Apresentam planos de partição geralmente lisos, podendo ocorrer superfícies rugosas e "rasgamento" da delaminação (REZENDE, 2012). Estratificação marcada pela intercalação de cores escuras, como o preto e o cinza, em leitos com aproximadamente 0,3 cm de espessura. A pirita, em ardósias negras, pode formar filmes esfarrapados ao longo dos leitos e planos de clivagem ardosiana.



Figura 1 – Variações cromáticas da ardósia (FEAM, 2014).

### 3.1.3 Lavra e beneficiamento

O principal foco de extração e beneficiamento de ardósias é o município de Papagaios (60% da produção), com ardósias cinzentas (na maioria). As jazidas são lavradas a céu aberto, em encosta e em cava. As cavas tem piso regular e normalmente plano (devido à clivagem horizontalizada) observada na Figura 2 (FEAM, 2014). A horizontalidade dos planos de partição e a espessura dos pacotes lavráveis permitem menores custos de produção e maior produtividade que outros centros mundiais de extração de ardósia) (FEAM, 2014).



Figura 2 – Frente de larva de ardósia cinza, evidenciando a regularidade e horizontalidade do piso (FEAM, 2014).

O início da lavra é efetuado em terrenos inclinados, avançando-se a escavação contra o relevo e seguindo-se um plano horizontal que acompanha o nível de ardósia objetivado. As vias de circulação e os arredores são normalmente pouco inclinados dispensando o uso de veículos especiais para o transporte (FEAM, 2014).

A taxa de recuperação na lavra da ardósia é bastante baixa, ficando entre 10 a 15% na fase de pleno desenvolvimento de uma pedreira. Se considerada a parte inicial do desenvolvimento, a taxa média final é ainda menor, com valores entre 5 e 10% (FEAM, 2014).

A retirada do capeamento estéril, composto por solo, toá (rocha intemperizada e fragmentada) e rocha alterada, é feita por meios mecânicos contando com o uso de retro escavadeiras, pás carregadeiras, etc. Já a retirada do material desejado, a ardósia, configura uma lavra em formato de bancadas únicas sucessivas ou em bancadas múltiplas largas. Blocos extraídos recebem o nome de "lajões" quando bem esquadrejados e como "lajinhas" quando formam ângulos agudos e implicam em maiores perdas no beneficiamento (Figura 3).



Figura 3 – Frente de lavra de ardósia cinza desenvolvida em bancada ou degrau único sucessivo (FEAM, 2014).

### 3.1.4 Aspectos econômicos da extração

Em 2003, a produção brasileira atingia cerca de 20.000.000 de m<sup>2</sup>/ano de lajotas e chapas com espessura média de 1cm, correspondente a 500-550 mil toneladas (FILHO et al, 2003 apud FILHO, 2004). A lavra e industrialização de ardósia no Brasil são efetuadas principalmente em Minas Gerais, principal centro produtor do país.

O beneficiamento e a comercialização dessa ardósia é feito no mercado interno e externo. Exportações brasileiras somaram, em 2003, cerca de 130.852,4 toneladas, com

faturamento de US\$ 42,2 milhões. Reino Unido, Espanha, EUA, Holanda, Alemanha e Itália estão entre os principais destinos das exportações brasileiras de ardósia. Estes países são, eles próprios, produtores tradicionais e altamente exigentes com os materiais consumidos, o que atesta o alto padrão de qualidade das ardósias brasileiras (AMARMG, 2015).

Entretanto, de acordo com a FEAM (2014), está ocorrendo um expressivo declínio da produção e das exportações estaduais, caracterizando-se com a paralisação de diversos focos de lavra e redução da variedade de rochas extraídas. Diversos motivos podem justificar a redução na produção de ardósia, tais como:

1. Processo de exclusão das atividades de lavra em região mais densamente povoadas, onde a mineração passa a competir com outros usos e ocupações do solo.
2. Divergência técnica entre os agentes federais, estaduais e municipais da atividade produtiva no que diz respeito a aspectos ambientais, minerários, trabalhistas e tributários;
3. Aumento dos custos de produção (mão de obra, energia e impostos), especialmente para rochas de processamento simples e menor valor agregado, como é o caso da ardósia;
4. Forte estrutura industrial de beneficiamento primário instalada no Espírito Santo.

A participação de ardósia e quartzitos foliados, no total das exportações de Minas Gerais, recuou de 64% em 2008 para 30% em 2013 (FEAM, 2014).

Levando em conta o atual panorama econômico da ardósia na região, esse projeto apresenta uma relevância significativa, já que esses resíduos sem valor econômico e descartados de forma irregular na natureza, com um reaproveitamento adequado, podem contribuir para a reestruturação do sistema produtivo, agregando valor econômico para o setor.

## 3.2 Impactos ambientais

Os resíduos industriais e urbanos cada vez mais têm sido problemas que a sociedade moderna enfrenta. A deposição de forma incorreta provoca a degradação do meio ambiente e contaminação dos mananciais de água e do solo (MENEZES, 2002 apud CUNHA, 2007).

A mineração, de um modo geral, representa uma atividade necessária para o desenvolvimento da sociedade, embora produza impactos ambientais mais ou menos

significativos em todas as fases, desde a prospecção e pesquisa a extração, beneficiamento e refino do material (FIGUEIREDO, 2000 apud CUNHA, 2007). Esses resíduos somados as aparas (resultantes da atividade de serraria) e efluentes líquidos causam impactos significativos ao meio ambiente.

Nas lavras de ardósia para revestimento existentes em Minas Gerais, solo e toá formam o capeamento do banco comercial e são considerados material estéril. A parte não aproveitada do banco comercial (cacos e cavacos de ardósia fresca) é definido como rejeito. Esses resíduos, somados as aparas e efluentes líquidos, causam impactos significativos ao meio ambiente.

Caso seja levada em consideração a possibilidade de aproveitamento dos rejeitos da lavra de ardósia de revestimento, para usos industriais diversos, esses rejeitos passam a constituir estoques remanescentes (FEAM, 2014).

### 3.2.1 Resíduos

Vários fatores contribuem para a grande geração de resíduos (Figura 4 ), sendo:

1. Aspecto geológico do maciço a ser explorado;
2. Natureza da rocha;
3. Técnicas utilizadas no desmonte da rocha;
4. Técnicas de beneficiamento e mão de obra utilizada: pequenas e médias empresas têm dificuldade de acesso a financiamentos para que possam utilizar tecnologias mais apropriadas para as atividades de beneficiamento bem como para realizar um melhor preparo da sua mão de obra.



Figura 4 – Rejeitos deixados na pedreira ou dispostos de forma incorreta (FEAM, 2014).

A partir da produção líquida estimada na década de 2000, bem como dos índices finais de recuperação na lavra, calculou-se que aproximadamente estariam sendo gerados e acumulados, em pilhas de bota fora, 5.000.000 ton/ano de estéril e rejeitos (FEAM,

2014). Tomando como base de cálculo essa quantidade de rejeito e estéril, bem como do histórico da produção e início das atividades na Província da ardósia, pode-se estimar que nos últimos 30 anos, tenha-se acumulado 100 milhões de toneladas de material nas dezenas de pilhas de bota-fora instaladas na região.

As melhores formas de minimizar impactos ambientais em uma mineração e em suas unidades de beneficiamento, é não gerar resíduos e desenvolver condições de aplicação ou reciclagem desses resíduos (CARRUSCA, 2001). O rejeito pode ser jogado nas cavas abandonadas após a exaustão daquela área, eliminando buracos. Porém, é necessário um plano de recuperação da área e reposição do solo ao seu local de origem.

Com um planejamento adequado, pode-se evitar a disposição dos rejeitos de lavra em locais inadequados, como locais de dreno, encostas dos morros, com o consequente assoreamento do rio e córregos, entre outros.

### 3.2.2 Poluição visual

O principal problema associado a exploração destas lavras é a grande alteração paisagística, eliminando a morfologia natural pela criação de vazios (cavas) e frentes de extração, aumentando a intensidade do impacto nas proximidades das numerosas explorações. O contraste cromático entre a ardósia descoberta e o verde circundante é notável, podendo ser visto a vários quilômetros de distância (RODRIGUEZ & BAYON, 1997).



Figura 5 – Impactos ambientais na lavra. Fonte: Souza, 2007.

Segundo Giaconi (1998), um aspecto importante em fazer um planejamento das áreas submetidas ao processo de extração de rochas ornamentais é que deve ser

levado em conta a necessidade de harmonizar, desde o início da atividade produtora, as ações referentes a recuperação ambiental. As áreas durante e após a atividade trazem um impacto visual devido a perda de parte de sua vegetação nativa e a disposição inadequada dos resíduos (Figura 5).

### 3.2.3 Efluentes líquidos

Além disso, outro impacto está relacionado com as águas, cujos leitos naturais se veem invadidos pelos escombros das pedreiras e plantas de corte que tem acrescentado o lodo e a poupa gerados no processo de corte da ardósia, cujo destino final acaba sendo, na maioria dos casos, estes mesmos leitos, apesar da existência de tanques de decantação (RODRIGUEZ & BAYON, 1997).

## 3.3 Reaproveitamento

As perdas de material vistas na extração da ardósia são representadas pela grande quantidade de resíduos gerada. A redução dessas perdas têm sido estudadas e solucionadas por meio da utilização de diferentes alternativas de reaproveitamento industrial desses resíduos sólidos.

Vários artigos aparecem tentando utilizar os resíduos sólidos da ardósia como matéria prima para produção de novos materiais, já que eles apresentam alta potencialidade para aplicação em agregados, agregado leve, blendagem com cimento ou material cerâmico. O aproveitamento desse resíduo mineral não só traz benefícios ambientais mas também acarretará melhoria técnica e econômica aos produtores.

Santos et al (2013) vem tentando utilizar a ardósia na produção de cerâmica vermelha e concreto. Cunha (2007) desenvolveu e patenteou um novo material obtido de rejeitos de ardósia e da produção de cal para aplicação na construção civil e como decorativos.

Palhares et al (2012), fizeram estudos relativos à utilização de pó de ardósia e resíduos da indústria cerâmica, na elaboração de massas cerâmicas para tijolos estruturais, concluindo que a adição de pó de ardósia na massa cerâmica aumentou em 20% a resistência mecânica de tijolos estruturais.

Carrusca (2001) desenvolveu trabalhos visando o aproveitamento industrial de resíduos de ardósia como insumo mineral na fabricação de cimento. Esta pesquisa foi aprovada pela Associação Brasileira de Cimento Portland.

Catarino et al (2003) avaliou a resistência de telhas fabricadas utilizando resíduos de ardósia. Ele fez uma comparação entre testes de laboratório e testes em escala industrial para ensaios de resistência mecânica e obteve valores de 75 a 52 MPa, respecti-

vamente. Mesmo o teste em escala industrial apresentando menores valores o resultado atende a exigência mínima de 27 MPa para a aplicação do material.

## 3.4 Concreto

### 3.4.1 Definição

Concreto é basicamente o resultado da mistura de cimento, água, pedra e areia, sendo que o cimento ao ser hidratado pela água, forma uma pasta resistente e aderente aos fragmentos de agregados (pedra e areia), formando um bloco monolítico (PORTAL DO CONCRETO, 2015).

O consumo mundial de cimento previsto para 2010 foi de 435 kg/hab., o que significa 3,3t de concreto por hab/ano, tomando-se o consumo médio de cimento de 300kg/m<sup>3</sup> de concreto. Esse número mostra o impacto que o concreto apresenta nas atividades do homem, pois o seu uso está relacionado com as satisfação das necessidades de conforto, abrigo e segurança em edificações e obras de infraestrutura (ISAIA, 2011).

### 3.4.2 Cimento Portland

De acordo com British Geological Survey (2005), cimento é definido como um produto manufaturado feito pela mistura de diferentes matérias primas e seu aquecimento em altas temperaturas a fim de atingir proporções químicas precisas do cal, sílica, alumínio e ferro no produto final. O cimento é, portanto, uma mistura de silicatos de cálcio e quantidades menores de aluminato de cálcio que reagem com a água (BRITISH GEOLOGICAL SURVEY, 2005).

Várias matérias primas podem ser utilizadas, sendo estas combinadas quimicamente através de piroprocessamento e submetidos a processos mecânicos (DEPARTMENT OF ENVIRONMENT, WATER, HERITAGE AND THE ARTS, 2008).

A qualidade do cimento está diretamente relacionada com a química das matérias primas utilizadas. Em torno de 80-90% da matéria prima que alimenta os alto fornos é o calcário. Matéria prima argilosa é usado em 10-15%, porém o valor pode variar (BRITISH GEOLOGICAL SURVEY, 2005). Carbonato de magnésio, algumas vezes presente no calcário, é uma impureza. Outras impurezas indesejadas incluem óxido de sódio, óxido de potássio que podem comprometer a durabilidade do cimento.

Normalmente 1,65 toneladas de calcário e 0,4 toneladas de argila são requeridas para cada tonelada de cimento produzida (BRITISH GEOLOGICAL SURVEY, 2005).

### 3.4.3 Agregados naturais

A definição de agregado mais aceita é de um material granular, sem forma ou volume definidos, de dimensões e propriedades adequadas às obras de Engenharia, em particular ao fabrico de concretos e argamassas de cimento Portland.

Muitas das propriedades do concreto são influenciadas pelas características do agregados utilizados, tais como: sua porosidade, composição granulométrica, absorção de água, estabilidade, forma e estrutura superficial dos grãos, resistência mecânica e substâncias deletérias presentes (ISAIA, 2011). A seleção dos agregados, portanto, deve ser bem feita observando-se o uso e o ambiente de inserção da estrutura de concreto que estará sendo produzida.

#### 3.4.3.1 Agregados quanto a origem

Os agregados podem ser classificados quanto à origem em (ISAIA, 2011):

1. Naturais: encontrados na natureza já preparados para o uso sem outro beneficiamento que não sejam a lavagem (quando for o caso, sua classificação granulométrica, geralmente, é feita por peneiramento), como, por exemplo, areia de rio, pedregulho, areia de cava, etc.
2. Britados: submetidos a processo de cominuição, geralmente por britagem, para que possam adequar-se ao uso como agregado para concreto, como pedra britada, pedrisco, pedregulho britado, etc.
3. Artificiais: derivados de processos industriais, como argila expandida e peletizada, folhelho expandido para tratamento térmico, vermiculita expandida, etc. São produzidos por processos industriais complexos envolvendo, muitas vezes, pulverização, aglomeração geralmente para obtenção de propriedades especiais, tais como baixa massa unitária e propriedades de isolamento térmico.
4. Reciclados: resíduos industriais granulares que tenham propriedades adequadas ao uso como agregado ou proveniente do beneficiamento de entulho de construção ou demolição selecionada para esta aplicação. Exemplo: escória de alto forno, entulho de construção, etc.

Cerca de 70% do volume do concreto é composto de agregados e, sendo a produção do cimento Portland, em 2010, de 3 milhões de toneladas, equivaleria a produção de 11,1 bilhões de m<sup>3</sup> concreto com consumo de cimento de 270 kg/m<sup>3</sup>. Essa produção corresponderia ao consumo de mais de 11 milhões de agregados graúdos e acima de 7 bilhões de tonelada de areia seca para dosagens equivalentes de concreto (ISAIA, 2011). Levando em conta estes valores é possível perceber a importância que

os agregados reciclados têm feito no atual cenário, onde são evitados custos extras de transporte e utilização de materiais que não tinham nenhuma destinação.

#### 3.4.3.2 Agregados quanto à dimensão dos grãos

Os agregados, quanto à dimensão dos grãos, são classificados em agregado graúdo e miúdo, onde o agregado graúdo é aquele cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha 152mm e ficam retidos na abertura de malha de 4,75, com peneiras padronizadas pela norma ABNT NBR ISO 3310/2010.

Já o agregado miúdo é aquele cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha 0,075mm em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248/2003.

#### 3.4.3.3 Massa unitária

A maioria dos agregados naturais, tais como areia e pedregulho, têm massa unitária entre 1500 e 1700 kg/m<sup>3</sup> e produzem os chamados concretos normais com aproximadamente 2400 kg/m<sup>3</sup> (ISAIA, 2011). Entretanto, agregados definidos como leves e pesados na norma NBR 9935/2011 podem ser usados para produção dos chamados concretos leves e pesados. São exemplos de agregados leves aqueles produzidos a partir da expansão térmica da argila, escória, ardósia. Agregados pesados são exemplificados pela barita e hematita.

#### 3.4.3.4 Composição granulométrica

A composição granulométrica mostra a distribuição dos grãos que constitui os agregados, geralmente expressa em termos de porcentagens individuais ou acumuladas retidas em cada uma das peneiras da chamada série normal ou intermediária que são estabelecidas na NBR 7211/2009 (Tabela 2). São também utilizados como referência para avaliar composição granulométrica a dimensão máxima característica e o módulo de finura. De acordo com a NBR 7211/2009, dimensão máxima é a grandeza associada à abertura nominal, em mm, da malha da peneira da série normal ou intermediária na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada ou imediatamente inferior a 5% em massa e módulo de finura corresponde a soma das porcentagens retidas acumuladas, em massa, de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100.

Em geral, areias muito grossas podem produzir misturas de concreto ásperas e não trabalháveis, enquanto as muito finas aumentam o consumo de água e são anti-econômicas. Assim, uma distribuição granulométrica equilibrada produzirá misturas de concreto mais trabalháveis e econômicas, além de proporcionar uma estrutura mais fechada da massa de concreto, o que diminui o volume de vazios e, por consequência,

Tabela 2 – Peneiras utilizadas no ensaio de granulometria.

Série Normal	Série Intermediária
76 mm	-
-	64 mm
-	50 mm
38 mm	-
-	32 mm
-	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,8 mm	-
2,4 mm	-
1,2 mm	-
0,6 mm	-
0,3 mm	-
0,15 mm	-

os espaços por onde podem penetrar os agentes agressivos ao concreto na forma de líquido e gases.

#### 3.4.3.5 Absorção

O agregado pode ser utilizado na produção de concreto em diversas condições de umidade. Quando todos os poros permeáveis estão preenchidos e não há uma película de água na superfície, diz-se que o agregado está na condição de saturado com superfície seca. Porém, se estiver saturado, mas houver umidade livre na superfície, o agregado está na condição saturada. Quando toda a água evaporável for removida por aquecimento a 100 graus em estufa, diz-se que está na condição seco em estufa. Se colocado ao ar e entrar em equilíbrio com a umidade ambiente, estará na condição seco ao ar (ISAIA, 2011).

A capacidade de absorção é a quantidade total de água requerida para levar o agregado da condição seca em estufa para saturado com superfície seca. Os dados de absorção são necessários para correção da proporção de água do traço do concreto em misturas realizadas a partir de materiais estocados sujeitos a variações climáticas ou mesmo a variações da umidade relativa do ar (ISAIA, 2011).

#### 3.4.3.6 Substâncias nocivas nos agregados

As substâncias nocivas podem ser (ISAIA, 2011):

1. Impurezas de origem orgânica: na forma de húmus ou fragmentos vegetais carbo-

nizados ou não, tais como ramos, folhas e outros tecidos vegetais. Podem interferir nas reações de hidratação do cimento, serem prejudiciais pela introdução de fragmentos de baixa resistência mecânica ou ainda provocar manchas superficiais no concreto. Os limites para materiais carbonosos são de 0,5%, em massa, para concreto aparente, e em 1% para os demais concretos.

2. Material pulverulento: constituído por partículas com dimensão inferior a 75 micrômetros inclusive para materiais solúveis em água. A presença excessiva dessas partículas pode afetar a tratabilidade e provocar fissuração no concreto, aumentando o consumo de água. A presença deste material é limitada, pela norma NBR 7211/2009, no agregado miúdo em 3%, em massa do agregado, para concreto submetido a desgaste superficial, e 5% em concretos sem ação de desgaste superficial.

## 4 Metodologia

O presente trabalho visa atender seus objetivos específicos através de uma metodologia experimental apresentada na Figura 6.

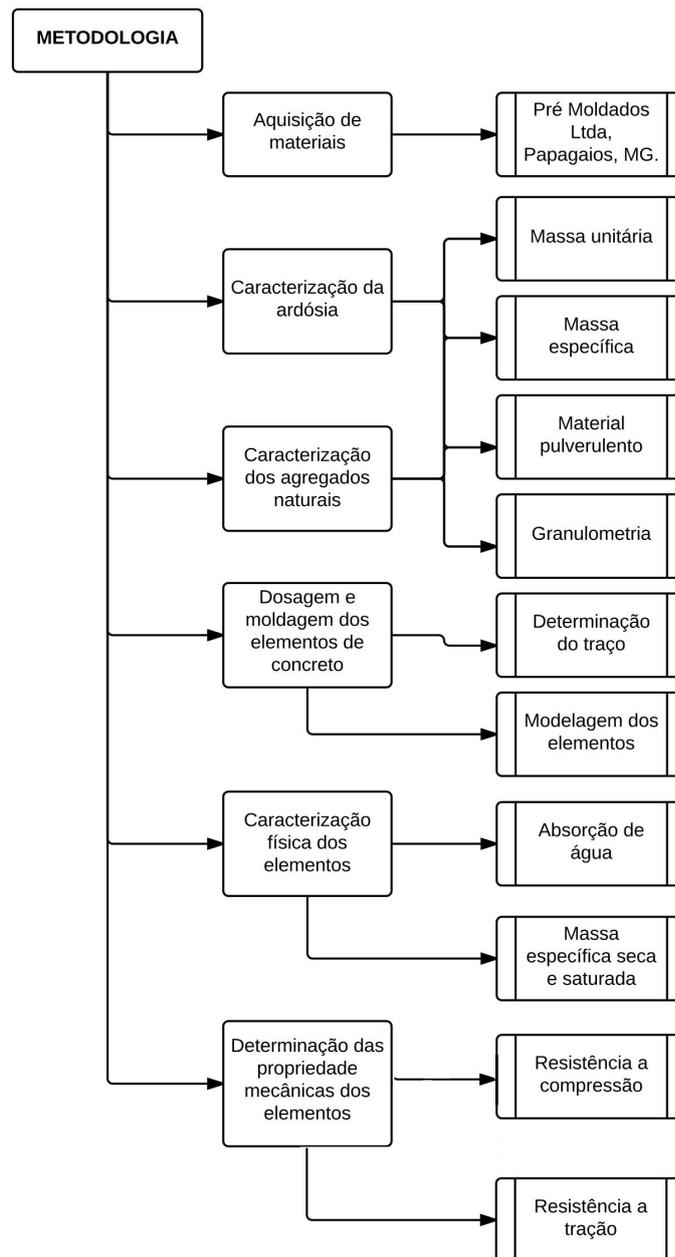


Figura 6 – Fluxograma do programa experimental desenvolvido. Adaptado: Silva (2011).

É possível observar todas as etapas da pesquisa cumpridas desde a caracterização das matérias primas até a caracterização do corpo de prova(CP).

## 4.1 Materiais

### 4.1.1 Aquisição das matérias primas

Para os experimentos foram utilizados materiais fornecidos pela empresa Pré Moldados Ltda, localizada em Papagaios-MG.

Os agregados miúdos naturais e reciclados podem ser visualizados pela Figura 7. Foram fornecidos pela Pré-Moldados Ltda.



Figura 7 – Agregados miúdos naturais e reciclados utilizados no experimento.

Além disso, os agregados graúdos utilizados utilizados podem ser vistos na Figura 8.



Figura 8 – Agregados graúdos utilizados no experimento.

O cimento utilizado foi o CP V Ari. Os parâmetros estabelecidos para o cimento em questão de secagem rápida podem ser visto na Tabela 3.

Tabela 3 – Caracterização do cimento portland ARI (CPV) utilizado.

CP V - ARI																
Finura		Tempos de de pega		Expansibilidade		Resistência a compressão					Exigências químicas					
Finura na peneira # 200 (%)	Finura na peneira # 325 (%)	Início (h)	Fim (h)	A frio (mm)	A quente (mm)	1 dia	3 dias	7 dias	28 dias	91 dias	Resíduo insolúvel (%)	Perda ao fogo (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	S (%)
≤ 6,0	-	≥ 1	≤ 10	≤ 5	≤ 5	≥ 14	≥ 24	≥ 34	-	-	≤ 1	≤ 4,5	≤ 6,5	≤ 3,5	≤ 3,0	-

Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland (2003).

A água utilizada na pesquisa foi a mesma que abastece o Laboratório de Materiais e os demais laboratórios do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), proveniente da Companhia de Saneamento de Minas Gerais S.A. (COPASA), responsável pelo tratamento e distribuição de água potável da cidade de Belo Horizonte.

## 4.2 Métodos

Os resíduos de ardósia coletados na empresa Pré Moldados Ltda foram transportados para o Campus 1 do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG onde foi descarregada e caracterizada.

### 4.2.1 Caracterização da ardósia

#### 4.2.1.1 Determinação da massa unitária

A determinação da massa unitária (MU) foi realizado em acordância com NBR 7251 (ABNT, 1982). Foi utilizado um recipiente previamente limpo, seco e de volume conhecido, tamanho de largura 300 mm, comprimento 255 mm e altura 206 mm. Foi quarteado, homogeneizado e colocado no recipiente, em seguida a superfície foi alisada com uma régua. Após esse procedimento foi pesado o recipiente contendo o resíduo e calculada a massa unitária.

Para o cálculo foi utilizada a Equação 1:

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

onde,

$MU$  = massa unitária ( $\text{kg}/\text{dm}^3$ )

$M$  = massa do material;

$V$  = volume interno do recipiente.



Figura 9 – Determinação da massa unitária da areia utilizando recipiente previamente determinado.

#### 4.2.1.2 Determinação de massa específica

Para o ensaio de massa específica a amostra foi previamente seca em estufa na temperatura de ( $105^{\circ}\text{C}$  -  $110^{\circ}\text{C}$ ), até constância de massa segundo a NBR 9776 (ABNT, 1987). Para a realização do ensaio foi colocada a água no frasco até marca de  $200\text{ cm}^3$ , deixando-o em repouso, para que a água aderida às faces internas escorresse totalmente. Em seguida foi introduzido, cuidadosamente,  $500\text{g}$  de agregado seco no frasco que foi devidamente agitado para eliminação das bolhas de ar. A leitura do nível atingido pela água no gargalo do frasco indica o volume, em  $\text{cm}^3$ , ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo, sendo verificado se as faces internas estavam completamente secas e sem grãos aderentes. Com a Equação 2 foi possível calcular a massa específica.

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

onde,

$\gamma$  = massa específica do agregado, deve ser expressa em ( $\text{kg}/\text{dm}^3$ );

$L$  = leitura do frasco (volume ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo).

#### 4.2.1.3 Determinação do teor de material pulverulento

Para a determinação do teor de material pulverulento foi coletado do lote uma amostra que havia sido 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. O material retido foi recolhido, seco e depois pesado. O cálculo foi efetuado conforme Equação 3.

$$MP = \frac{M_i - M_f}{M_i} * 100 \quad (3)$$

onde,

$MP$  = teor de material pulverulento (%);

$M_i$  = massa inicial;

$M_f$  = massa final.

O primeiro recipiente continha areia preta proveniente de processos siderúrgicos; o segundo areia convencional e o terceiro continha pó de brita de ardósia.

#### 4.2.1.4 Análise granulométrica

A análise granulométrica foi realizada para definir o tamanho das partículas do material, sendo essa realizada através do peneiramento a seco de uma amostra da ardósia e da pesagem dos grãos retidos em cada uma das peneiras da série normal de peneiras NBR NM 248 (ABNT, 2003).

As amostras foram separadas e pesadas em balança de precisão com capacidade mínima de 2 kg e sensibilidade de 1 g. 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 4,8mm a 0,075mm sob agitador, e o material retido foi pesado (Figura 10).

Em função das porcentagens retidas e acumuladas foi calculado o módulo de finura e a dimensão máxima dos agregados. O módulo de finura é a soma das porcentagens acumuladas nas peneiras da série normal, dividida por 100, não sendo considerado o fundo e as peneiras intermediárias.



Figura 10 – Granulometria do material agregado miúdo areia convencional passando pela sequência de peneiras descritas anteriormente.

#### 4.2.1.5 Dosagem do traço dos elementos

Os agregados naturais utilizados nas dosagens que serviram como testemunhos ao modelo experimental foram adquiridos no mercado local, frente às faixas granulométricas indicadas pela NBR 7211 (ABNT, 2005) para agregados graúdos e miúdos.

A partir dos dados da caracterização física obtidos para os agregados artificiais e naturais, foi produzida uma mistura graduada. Os corpos de prova gerados são 100mm por 200mm.

Foram feitos três corpos de prova (CP) de proporções diferentes de materiais. A primeira mistura diz respeito ao corpo de prova convencional com apenas um agregado miúdo (CP-A). Esta mistura foi realizada para parâmetro de comparação, sendo confeccionada com cimento, água e agregados naturais graúdos e miúdos. O corpo de prova convencional duplo (CP-2A) continha cimento, água, dois agregados miúdos e um agregado graúdo natural. No corpo de prova reaproveitado (CPR), os agregados naturais graúdos foram substituídos por Agregados graúdos Reaproveitados (AGR), no caso a brita de ardósia. Também foi adicionado pó de brita como agregado miúdo.

Foram utilizados dois tipos de areia como agregado miúdo. A primeira (AR-1), uma areia de bancada convencional, e a segunda (AR-2), uma areia de rejeito da indústria siderúrgica. Este rejeito, utilizado no processo de produção, apresenta cor preta e é dosada com a convencional. Juntas elas compõem o material feito.

O material utilizado nos experimentos apresenta a mesma granulometria do ma-

terial utilizado na fábrica de Papagaios. As proporções utilizadas (traços) nas moldagens podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4 – Proporções de materiais utilizados para a moldagem de CPs

	EC-A (kg)	EC-2A (kg)	ECR (kg)
Cimento	5	5	5
Areia branca (AR-1)	15	7,5	5
Areia preta (AR-2)	-	7,5	5
Pó de brita	-	-	5
Brita	10	10	-
Agregaúdo Graúdo Reaproveitado	-	-	10
Água	3	3	3

#### 4.2.1.6 Moldagem e cura dos elementos

Os corpos de prova foram produzidos da mistura cimentícia. A mistura realizou-se em uma betoneira (Figura 11).



Figura 11 – Betoneira utilizada para fazer a mistura concreto e teste de slump feito.

Foram então moldados com o auxílio de vibroprensa os corpos de prova e no dia seguinte foram desmoldados, como mostra a Figura 12. Com 28 dias de cura, passaram por processamento e análise no Laboratório de Materiais do CEFET-MG.



Figura 12 – Forma utilizada para moldagem dos corpos de prova.

#### 4.2.2 Determinação das propriedades físicas e mecânicas dos corpos de prova

A determinação das propriedades físicas e mecânicas foi feita a partir de oito corpos de prova de cada composição para cálculo de absorção de água por imersão, massa específica da amostra seca e da amostra saturada de acordo com a ABNT NBR 9778 (ABNT, 1987). A metodologia proposta foi baseada nos ensaios de laboratório empregados por Silva, 2011.

##### 4.2.2.1 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 até atingirem constância de massa. Para determinar a constância de massa, a amostra permaneceu em estufa à temperatura de  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , as amostras foram pesadas após permanência na estufa de 24 h. As amostras foram resfriadas ao ar seco à temperatura ambiente.

Completada a secagem em estufa e determinada a massa seca, foi procedida à imersão da amostra em água durante 24 hrs. As determinações foram efetuadas após enxugar-se a superfície da amostra com toalha absorvente. Após 24 h de permanência na imersão foi verificado se a massa não diferiu mais de 0,5% da massa inicialmente. Após completar a saturação foi procedida à pesagem em balança hidrostática, anotando as massas das amostras imersas em água.

A absorção de água por imersão ( $Abs$ ) foi definida pela Equação 4:

$$Abs = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} * 100 \quad (4)$$

onde:

$M_{sat}$  = massa do corpo-de-prova saturado;

$M_s$  = massa do corpo-de-prova seco em estufa.

#### 4.2.2.2 Determinação das massas específicas

A massa específica foi determinada considerando a 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 ( $\gamma_s$ ) foi determinada pela Equação 5:

$$\gamma_s = \frac{M_s}{M_{sat} - M_i} * 100 \quad (5)$$

A massa específica saturada ( $\gamma_{sat}$ ) foi determinada pela Equação 6:

$$\gamma_{sat} = \frac{M_{sat}}{M_{sat} - M_i} * 100 \quad (6)$$

#### 4.2.2.3 Determinação da resistência à compressão

A resistência à compressão simples foi determinada individualmente para cada corpo de prova e expressa pela média de suas repetições.

O carregamento foi conduzido continuamente, com velocidade de aplicação entre 300 kPa/s e 800 kPa/s. Nenhum ajustamento foi feito nos controles da máquina de ensaio quando a peça aproximou-se da ruptura e o carregamento prosseguiu até a ruptura completa da peça.

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 vão ser circulares, com diâmetro de 90 mm, confeccionadas de aço, com dureza superficial maior que 60 RC (Figura 13).

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 fiquem perfeitamente alinhados.

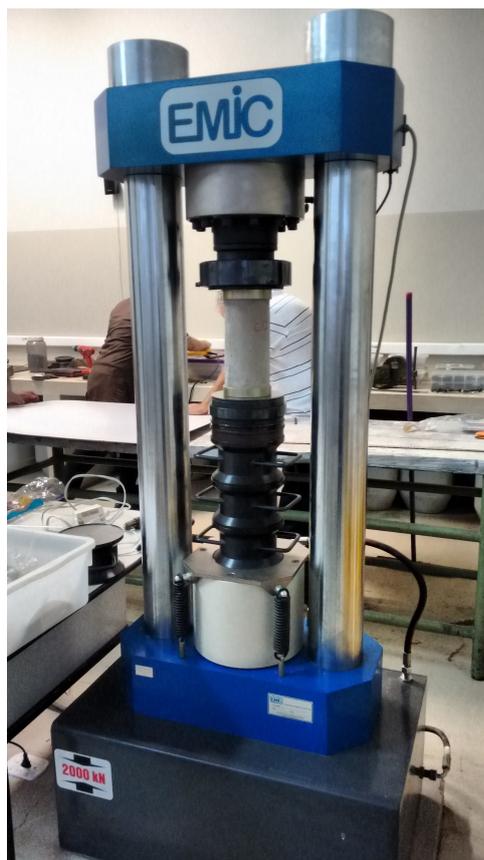


Figura 13 – Ensaio de compressão realizado pelo equipamento PCM100C, prensa hidráulica de acionamento manual.

#### 4.2.2.4 Determinação da resistência à tração

A resistência à tração (Figura 14) pode ser avaliada por meio de ensaio de compressão diametral, desenvolvido pelo engenheiro formado brasileiro Fernando Lobo Carneiro, preconizado pela norma NBR 7222 (ABNT, 2011). Este ensaio é de execução mais simples execução do que o ensaio de tração direta. Seu valor é demonstrado pela equação 7:

$$f_t = \frac{2P}{\pi DL} \quad (7)$$

onde:

P= carga aplicada no corpo de prova

D= diâmetro do corpo de prova

L= altura do corpo de prova

Este tipo de ensaio de compressão é o mais indicado para avaliar características de materiais frágeis, como o caso do concreto.



Figura 14 – Ensaio de tração por meio de ensaio de compressão diametral realizado no equipamento PCM100C.

## 5 Resultados

### 5.1 Caracterização dos materiais

#### 5.1.1 Massa unitária

Na Figura 15 são apresentados os resultados de massa unitária dos agregados naturais e reciclados da ardósia. Foi possível observar que o agregado proveniente da siderurgia (AR-2) possui menor densidade em relação ao agregado miúdo natural (AR-1), porém ambos são menos densos que o pó de brita de ardósia.

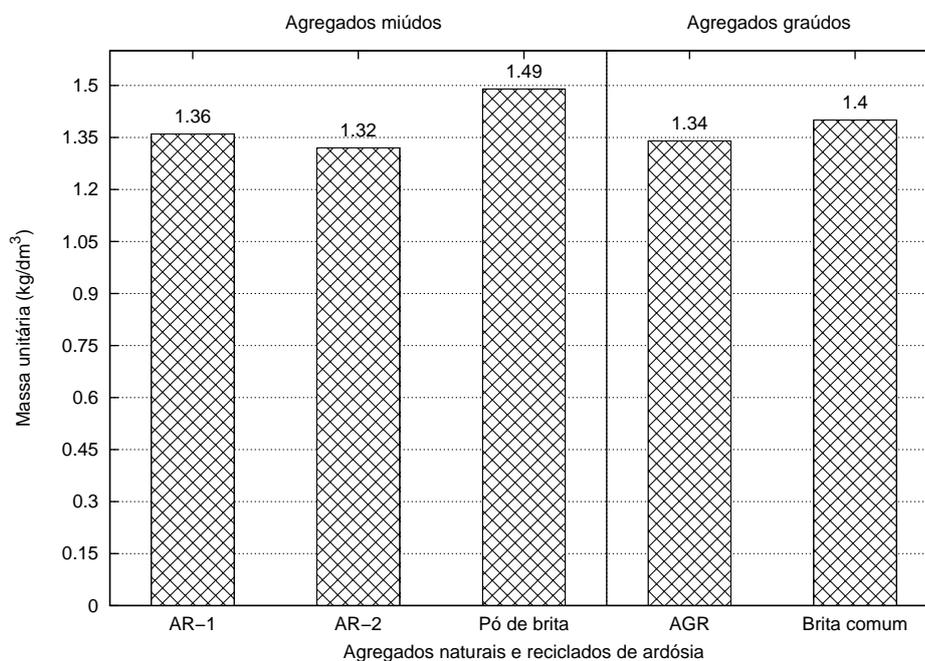


Figura 15 – Resultado de massa unitária encontrada para agregados miúdos e graúdos utilizados.

De acordo com Efting (2014), os valores de massa unitária dos agregados naturais variam entre 1,3 e 1,7 kg/dm<sup>3</sup>, estando então de acordo com o encontrado. Neste estudo, a relação entre as massas unitárias do agregado miúdo natural (AR-1) e pó de brita ficou com o valor médio de 0,96 ou seja, a densidade do agregado natural é 4% menor do que a da pó de brita de ardósia.

Os valores encontrados mostram que os agregados graúdos reciclados (AGR) apresentam menor densidade em relação a brita comum, afirmação corroborada por Gonçalves (2001) que cita essa propriedade de materiais reciclados. Percebe-se que os agregados naturais apresentaram massa unitária de 5% maior que as dos agregado reciclado de ardósia.

### 5.1.2 Massa específica

Na Figura 16 são apresentados os resultados da massa específica dos agregados naturais e reciclados de ardósia. A massa específica do pó de ardósia é em geral maior do que a dos agregados convencionais (AR-1 e AR-2). Analisando os dados encontrados, é possível perceber que o pó de brita apresentou massa específica entre 3 e 9 % maior do que os outros agregados.

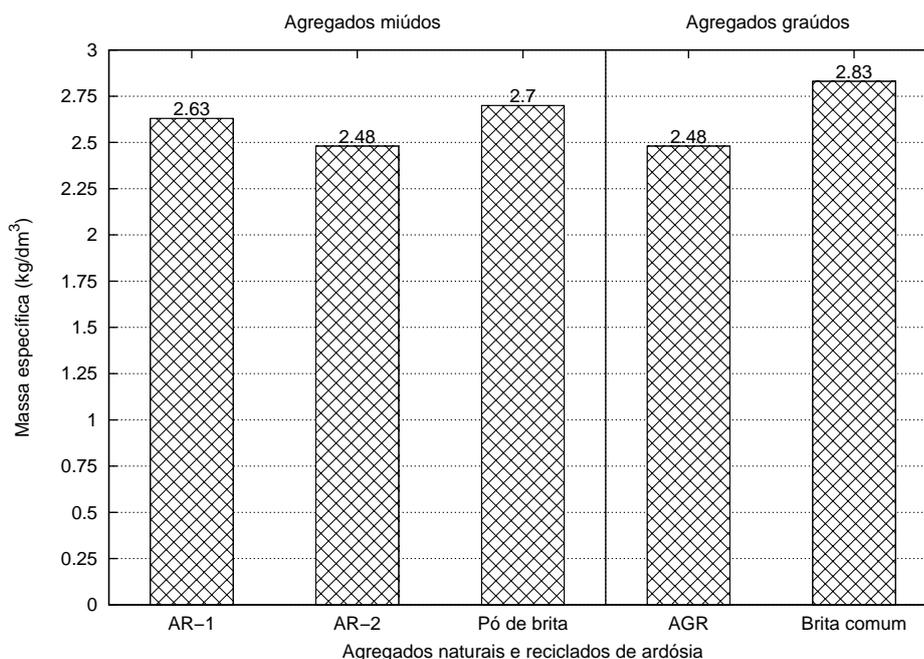


Figura 16 – Resultados de massa específica dos agregados utilizados.

Segundo ALTHEMAN (2002), o agregado reciclado varia muito em função da composição e do tipo de resíduo. Observa-se que o valor encontrado para os agregados graúdos reciclados (2,48 g/cm<sup>3</sup>) apresentaram-se inferiores aos dos agregados naturais (2,83 g/cm<sup>3</sup>). Vale ressaltar que o tamanho das partículas influencia no valor de massa específica do material reciclado, bem como o processo de britagem utilizado.

### 5.1.3 Material pulverulento

Na Figura 17 estão apresentados os resultados de material pulverulento dos agregados naturais e reciclados de ardósia. A NBR 7211 (ABNT, 2011) define o percentual máximo de material fino que passa através da peneira 75 micrometros por lavagem (material pulverulento) para agregados miúdos a serem utilizados em concretos submetidos à desgaste superficial e concretos protegidos do desgaste superficial nos valores de 3 a 5%, respectivamente. Para o caso de manilhas, o concreto fica protegido do desgaste e os valores máximos permitidos são então de 5%.

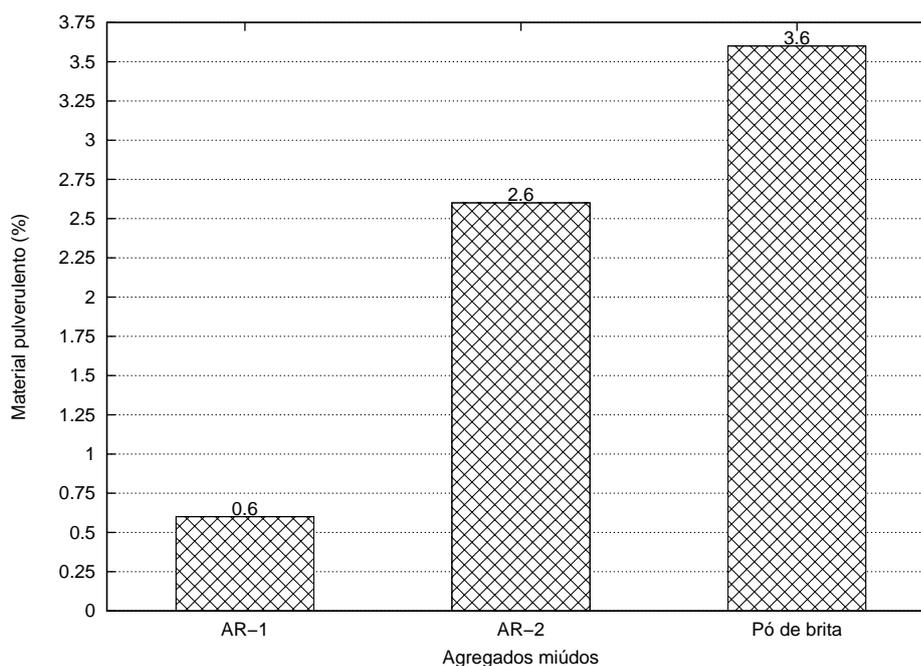


Figura 17 – Resultados de material pulverulento para os agregados miúdos.

De acordo com os dados obtidos no experimento, foi possível ser feita a relação do pó de brita com os agregados naturais utilizados. O pó de brita apresenta aproximadamente 80% a mais de material pulverulento em relação a AR-1 e 18% em relação a AR-2. Os valores encontrados não ultrapassam os 5% estipulados pela norma, logo as propriedades do concreto ficam preservadas.

#### 5.1.4 Granulometria

A Figura 18 apresenta as curvas granulométricas do pó de brita de ardósia e dos agregados naturais miúdos utilizados. Observa-se que, para a peneira de 4,8mm e 2,40mm, o agregado reciclado apresentou granulometria similar com AR-2, informação corroborada pela Tabela 5.

Tabela 5 – Análise granulométrica dos agregados miúdos utilizados – NBR 7217/87

Peneira (mm)	Massa retida (g)			% Retida			% Retida acumulada		
	AR-1	AR-2	Pó de brita	AR-1	AR-2	Pó de brita	AR-1	AR-2	Pó de brita
0,15	0,01	0,004	0,02	2	0,8	4	2	0,8	4
0,30	0,076	0,046	0,056	15,2	9,2	11,2	17,2	10	15,2
0,60	0,25	0,141	0,078	50	28,2	15,6	67,2	38,2	30,8
1,20	0,14	0,164	0,15	28	32,8	30	95,2	71	60,8
2,40	0,012	0,118	0,172	2,4	23,6	34,4	97,6	94,6	95,2
4,80	0,0002	0,012	0,012	0,04	2,4	2,4	97,6	97	97,6

O módulo de finura de um agregado se determina pela soma das porcentagens

retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras de série normal, dividida por 100. O valor encontrado para AR-1 foi de 3,76, sendo o material com o maior tamanho de partículas. O valor de AR-2 é de 3,11 e o de pó de brita 3,03, com partículas menores.

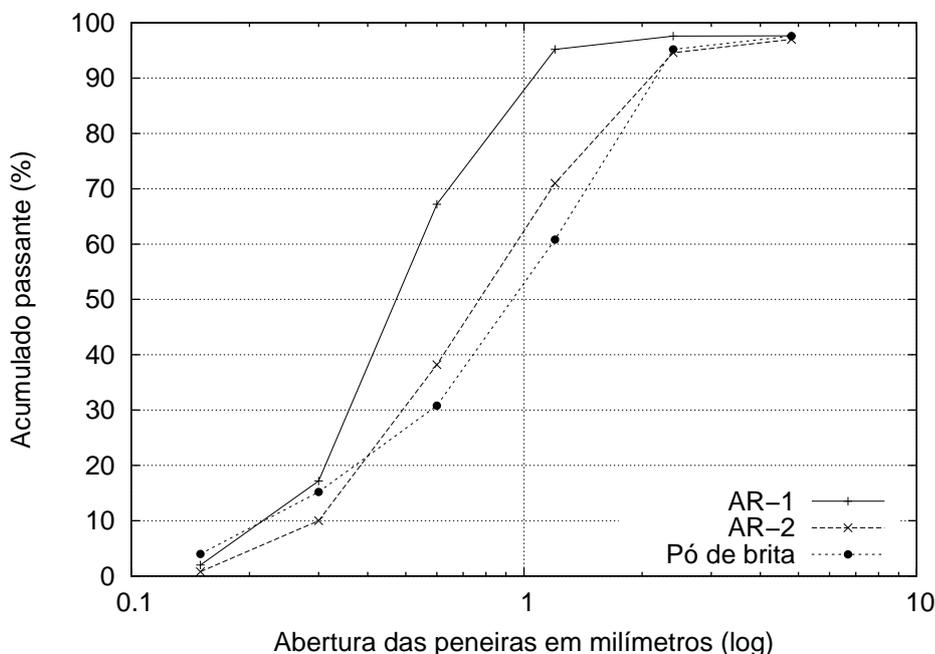


Figura 18 – Resultados de granulometria para agregados miúdos.

Ao analisar a granulometria do agregado graúdo reciclado (AGR) em comparação ao natural, ocorre o inverso em relação à fração miúda que ficou com a dimensão de partículas recicladas maior do que a dos materiais convencionais (AR-1 e AR-2) (Figura 19). Os agregados graúdos reciclados (AGR) possuem dimensão menor (peneira 9,5mm em relação a 19mm) do que o material natural. Sugere-se que possa existir uma influência do processo de britagem no resultado.

Tabela 6 – Análise granulométrica dos agregados graúdos utilizados – NBR 7217/87

Peneira (mm)	Massa retida (g)		% retida		% retida acumulada	
	Brita comum	AGR	Brita comum	AGR	Brita comum	AGR
6,30	0,01	0,13	2	26	2	26
9,50	0,098	0,196	19,6	39,2	21,6	65,2
12,50	0,344	0,106	68,8	21,2	90,4	86,4
19,00	0,044	0,004	8,8	0,8	99,2	87,2

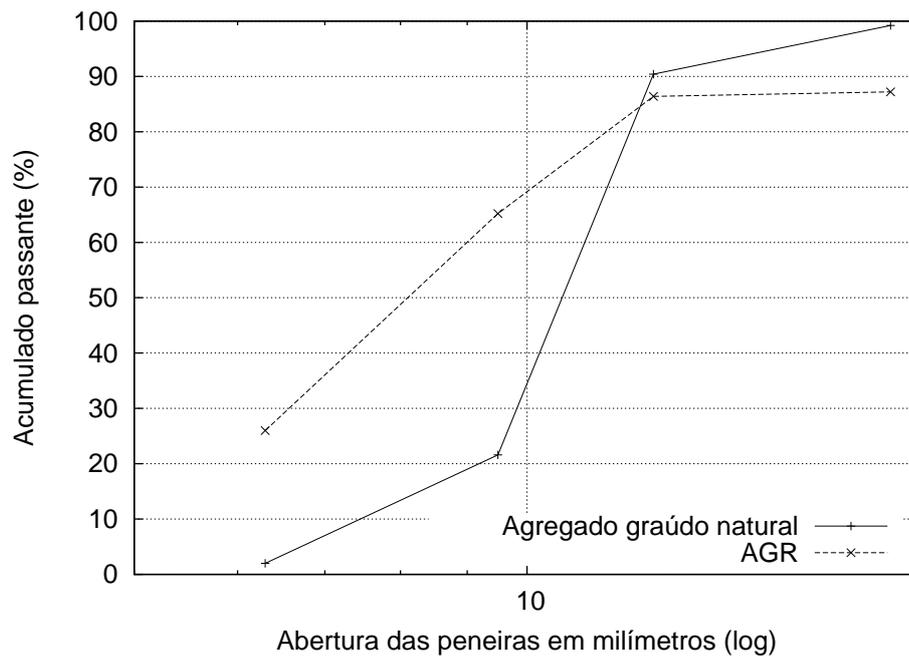


Figura 19 – Resultados de granulometria para agregados graúdos.

## 5.2 Determinação das propriedades físicas e mecânicas dos corpos de prova

### 5.2.1 Absorção de água

Na Figura 20 é possível observar que o corpo de prova reciclado (CPR) apresentou 8% a mais de absorção de água em relação ao corpo de prova convencional (CP-A).

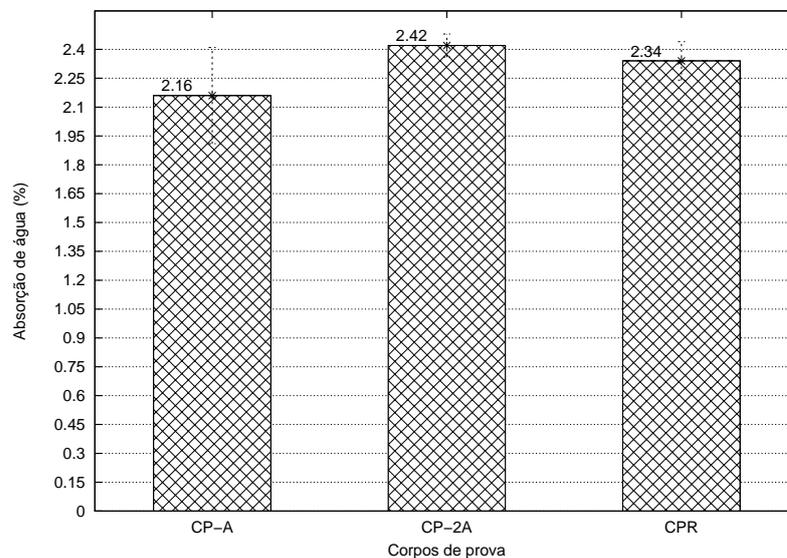


Figura 20 – Resultados de absorção de água encontrados para os corpos de prova.

Foi comprovado durante a moldagem dos corpos de prova deste trabalho que o agregado reciclado possui maior absorção quando comparado com o material natural, pois ao ser utilizado a mesma quantidade de água em duas dosagens, com amostras que se diferenciaram apenas pelo tipo de agregado utilizado, a que teve a maior fração do material reciclado foi mais seca.

### 5.2.2 Massa específica seca

Na Figura 21 são apresentados os resultados da massa específica seca dos corpos de prova produzidas com agregados naturais e reciclados.

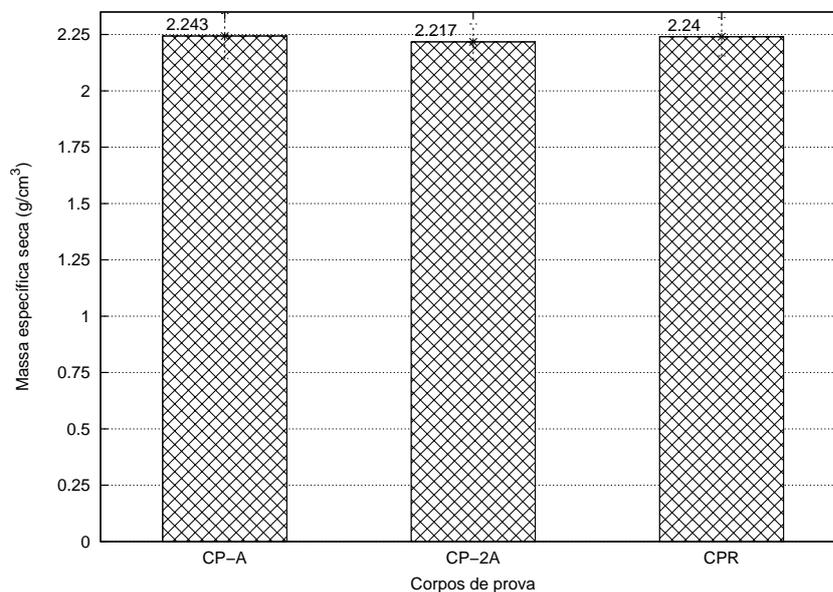


Figura 21 – Resultados de massa específica seca dos corpos de prova.

Analisando os resultados percebe-se os corpos de prova confeccionados com os agregados reciclados alcançaram menores valores de massa específica seca ( $2,23 \text{ g/cm}^3$ ) em relação a CP-A ( $2,243 \text{ g/cm}^3$ ). Os resultados de massa específica seca corroboram com os resultados de absorção de água, uma vez que as corpos de prova que apresentaram maiores absorção apresentaram menores massas específicas.

### 5.2.3 Massa específica saturada

Na Figura 22 são apresentados os resultados da massa específica saturada dos corpos de prova produzidos com agregados naturais e reciclados.

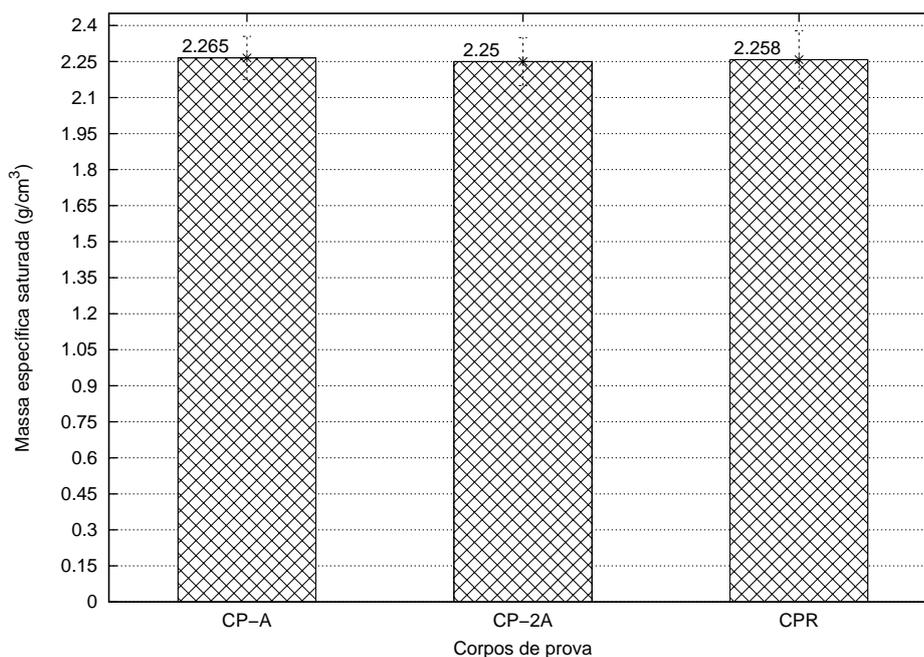


Figura 22 – Resultados de massa específica saturada dos corpos de prova.

Analisando os resultados percebe-se os corpos de prova confeccionados com os agregados reciclados (CPR) alcançaram menores valores de massa específica saturada ( $2,258 \text{ g/cm}^3$ ) em relação a corpo de prova convencional (CP-A) ( $2,265 \text{ g/cm}^3$ ).

#### 5.2.4 Resistência a compressão

Os testes de resistência a compressão foram realizados seguindo a NBR 5739/87 com 28 dias de cura dos corpos de prova. Todos os procedimentos foram realizados da mesma forma para todos os corpos de prova. Os valores alcançaram para o corpo de prova convencional (CP-A) 30MPa, enquanto para o corpo de prova produzido com areia reciclada (EC-2A) foram de 35MPa e para o corpo de prova reciclado (CPR), utilizando agregados reciclados de ardósia, foram de 32MPa.

Analisando-se os dados mostrados na Figura 23 o CP-2A alcançou maiores valores de resistência em relação aos outros devido a presença de AR-2, material proveniente da indústria de siderurgia. Pode-se observar ainda que os corpos de provas reciclados (CPR) apresentaram um aumento de 13% da resistência em relação ao corpo de prova convencional (CP-A). Sugere-se que a presença de AR-2 aumentou a resistência deste corpo de prova.

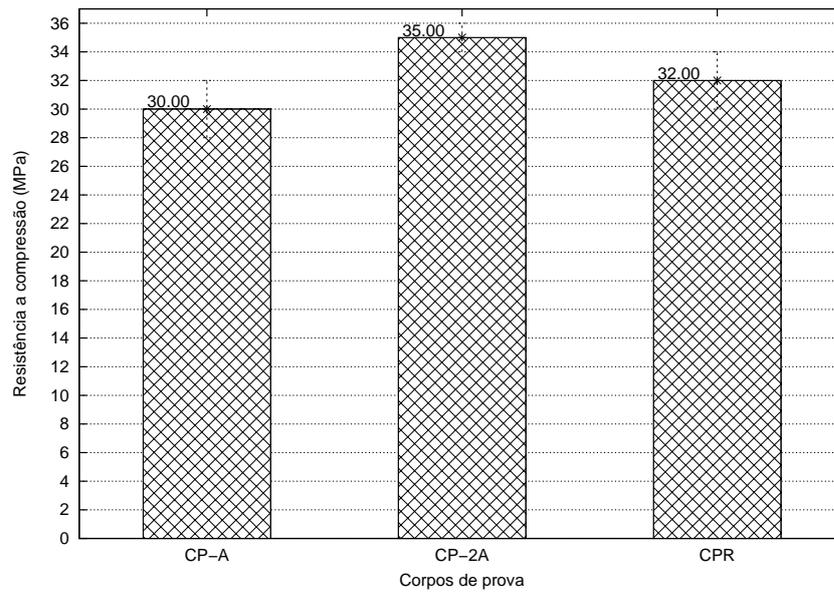


Figura 23 – Resultados de resistência a compressão dos corpos de prova.

Os resultados obtidos indicam que o corpo de prova com presença de areia de siderurgia (CP-2A) apresentou maiores valores de resistência em relação ao corpo de prova reciclado (CPR) e ao corpo de prova convencional (EC-A).

### 5.2.5 Resistência a tração

Na Figura 24 são apresentados os resultados da resistência a tração por meio do ensaio de compressão diametral dos corpos de prova produzidos com agregados naturais e reciclados.

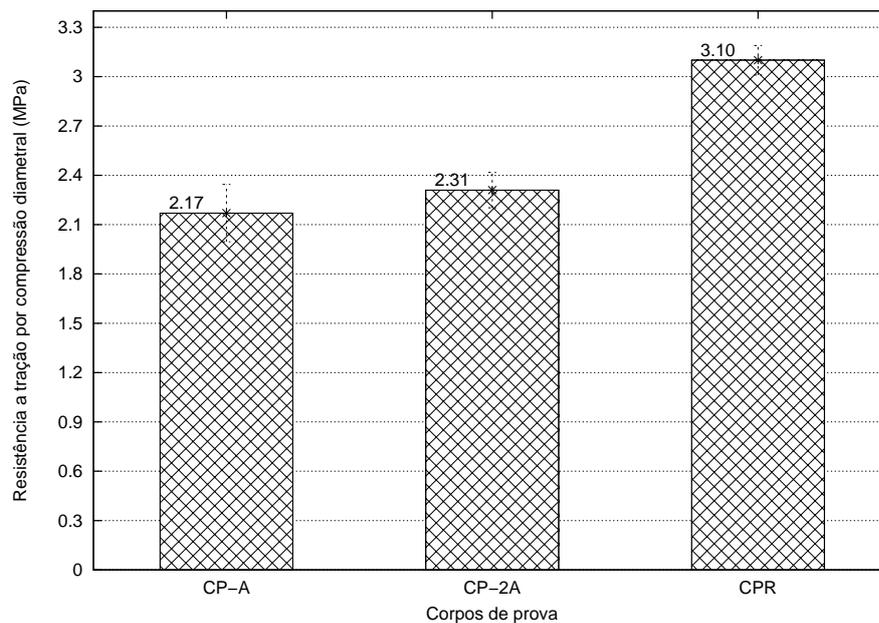


Figura 24 – Resultados de resistência a tração dos corpos de prova.

Analisando os resultados percebe-se os corpos de prova confeccionados com os agregados reciclados (CPR) alcançaram maiores valores de resistência em relação a CP-A e CP-2A.

No ensaio notou-se que os corpos de prova tiveram uma ruptura correta, ou seja, formaram-se linha de ruptura cisalhada. Portanto o concreto ensaiado estava de acordo com as normas.

## 6 Conclusões

A análise dos resultados desenvolvida neste trabalho conduz as seguintes conclusões em relação aos agregados utilizados:

1. A areia proveniente de siderurgia (AR-2) possui menor densidade em relação a areia de bancada convencional (AR-1), porém ambos são menos densos que o pó de brita de ardósia.
2. Os valores encontrados mostram que os agregados graúdos reciclados (AGR) apresentam menor densidade do que agregados naturais.
3. A massa específica do pó de ardósia é, em geral, maior do que a dos agregados convencionais (AR-1 e AR-2), talvez devido, em grande parte, a maior porosidade do resíduo.
4. Observa-se que os valores encontrados para massa específica dos agregados graúdos reciclados (AGR) apresentaram-se inferiores aos dos agregados naturais.
5. O material pulverulento dos agregados recicláveis apresentam valores aceitáveis estipulados pela norma (3,6% sendo o valor máximo 5%). Acrescenta-se, ainda, que o pó de brita apresenta aproximadamente 80% a mais de material pulverulento comparado a areia de bancada convencional (AR-1).
6. Com relação aos agregados graúdos, o agregado graúdo reciclado (AGR) apresenta em sua maioria partículas mais finas em relação ao natural.

De modo geral, todos os resultados da caracterização física dos agregados reciclados de ardósia apresentam propriedades mecânicas aceitáveis para produção de corpos de prova para produção de manilhas.

Sobre os corpos de prova produzidos com agregados reciclados (CPR), pode-se concluir:

1. A absorção de água dos corpos de prova confeccionados com agregados reciclados de ardósia (CPR) alcançaram valores maiores que os confeccionados com agregados convencionais (CP-A).
2. Analisando os resultados percebe-se os corpos de prova confeccionados com os agregados reciclados alcançaram menores valores de massa específica seca e massa específica saturada comparados ao convencional.

3. A resistência a compressão simples do concreto confeccionado com agregados reciclados apresentou valores maiores do que o convencional (EC-A). Mas os testes não foram suficientes para afirmar se foi a ardósia a responsável pelo aumento desta resistência. A presença da escória na areia de rejeito de fundição pode, também, influenciar neste aumento da resistência. Assim, será necessário desenvolver mais pesquisa para determinar qual a interferência de cada componente mineral na resistência do elemento de concreto analisado.
4. Analisando os resultados do ensaio de tração a partir da compressão diametral, percebe-se os corpos de prova confeccionadas com os agregados reciclados alcançaram maiores valores de resistência em relação ao convencional (CP-A).

Conclui-se, portanto, que os resíduos de ardósia, largamente descartados como rejeitos nas frentes de lavra de ardósia, podem ser utilizados parcialmente como agregados naturais na fabricação de manilhas do tipo "Tubo de Concreto Simples".

No caso específico das manilhas produzidas pela empresa Pré- Moldados Ltda, localizada em Papagaio-MG, existe uma variável na formulação do concreto, que é o uso de areia rejeito de fundição contendo grande quantidade de escória fina como parte da mistura. Esta areia é descartada por uma fundição da região e usada pela fábrica como parte dos insumos minerais dos produtos pré-moldados. A presença da escória pode ser um elemento responsável por interferir na resistência do produto, para maior ou para menor, o que caracteriza a necessidade de outros ensaios visando definir a interferência desta areia descartada na fundição em relação à areia comum.

## 7 Sugestão de trabalhos futuros

O presente trabalho sugere como propostas para futuros trabalhos:

- realização de testes complementares, como o MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura) para entender melhor o comportamento dos componentes utilizados e seu efeito nos corpos de prova.
- caracterização do agregado miúdo proveniente da indústria siderúrgica, afim de definir as propriedades físico-químicas responsáveis por interferir ou não na resistência dos corpos de prova;
- avaliação dos materiais reciclados de ardósia (pó de brita de ardósia e agregado graúdo reciclado - AGR), afim de descobrir deles qual é responsável pelas propriedades observadas nos corpos de prova;

## Referências

AMARMG - ASSOCIAÇÃO DOS MINERADORES E BENEFICIADORES DE ARDÓSIA DE MINAS GERAIS. **A versatilidade das ardósias em revestimento**. Papagaios, MG, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 7. ed. São Paulo, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7251**: Agregado em estado solto: Determinação da massa unitária: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1982.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9939**: Agregados: Determinação do teor de umidade total, por secagem, em agregados graúdos: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 248**: Agregados: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto: Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8890**: Tubo de concreto de seção circular para águas pluviais e esgotos sanitários: Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos: Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria: Requisitos. Rio de Janeiro, 2014.

BORGES, P. H. R.; LOURENÇO, T. M. d. F.; FOUREAUX, A. F. S.; PACHECO, L. S. Estudo comparativo da análise de ciclo de vida de concretos geopoliméricos e de concretos à base de cimento Portland composto (CP II). **Ambiente Construído**, Scielo, v. 14, p. 153 – 168, 06 2014.

BRITISH GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral Profile**: Cement raw materials. Keyworth, Nottingham, UK, 2005.

CARRUSCA, E. **Aproveitamento Industrial de Resíduos de Ardósia como Insumo Mineral na Fabricação de Cimento**. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente) — Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2001.

CATARINO, L.; SOUSA, J.; MARTINS, I. M.; VIEIRA, M. T.; OLIVEIRA, M. M. **Ceramic Products Obtained from Rock Wastes**. [S.l.]: Journal of Materials Processing Technology, 2003. 843–845 p.

CETEC- FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. **Estudo integrado de recursos naturais: Bacia do alto são francisco e parte central da área mineira da sudene: estudos sobre áreas para preservação e proteção especial: relatório final**. Belo Horizonte, MG, 1983. 255 p.

CUNHA, J. P. **Desenvolvimento de um novo material a partir da composição dos resíduos da mineração de varvito e da produção de cal**. 106 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) — Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2007.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENT, WATER, HERITAGE AND THE ARTS. **Emission estimation technique manual for cement manufacturing**. Canberra, Australia, 2008.

ECIVIL. **O Cimento Portland**. 2015. Disponível em: <[http://www.ecivilnet.com/artigos/cimento\\_portland.htm](http://www.ecivilnet.com/artigos/cimento_portland.htm)>.

EFFTING, C. **Laboratório de materiais de construção - II: Parte 1 - agregados**. Santa Catarina: Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, 2014.

FEAM. **Plano de ação para sustentabilidade do setor de rochas ornamentais - Ardósia em Papagaios (Parte 3)**. Belo Horizonte, MG, 2014. 50 p.

FIGUEIREDO, B. Mineração: Efeitos no meio ambiente e saúde humana. In: **Minérios e ambiente**. São Paulo: UNICAMP, 2000. p. 325 – 326.

FILHO, C.; CID et al. Ardósias de Minas Gerais, Brasil: Características geológicas, petrográficas e química. UNESP, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 119–127, 2003.

GIACONI, W. J. **Perfil atual da indústria de rochas ornamentais no município de Cachoeiro de Itapemirim (ES)**. 85 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) — Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1998.

GONÇALVES, R. D. C. **Agregados reciclados de resíduos de concreto - um novo material para dosagens estruturais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) — Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

GROSSI-SAD, J.; QUADE, H. Revisão estratigráfica do grupo bambuí (bloco oriental) em minas gerais. **SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS**, v. 3, n. 1985, p. 68–83, 1985.

INFRAESTRUTURA URBANA. **Drenagem com manilhas**. 2015. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/38/artigo310926-1.aspx>>.

ISAIA, G. C. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. first. São Paulo: Ibracon, 2011. Volume 1.

JUNIOR, J. de A. F. **Agregados - Materiais de construção**. 2015. Disponível em: <[http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/0/00/TC031\\_Agregados\\_.pdf](http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/0/00/TC031_Agregados_.pdf)>.

MENEZES, R. R.; NEVES, G. d. A.; FERREIRA, H. C. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, SciELO Brasil, v. 6, n. 2, p. 303–313, 2002.

PELEGRINI, D. F.; MORAIS, F. A. de; ALMEIDA, L. A. de; SOARES, L. H.; OLIVEIRA, E. C. G. de; Sá, L. J. de; SILVA, A. V. F.; OLIVEIRA, S. A. da C. Diagnóstico rural - município de papagaios. Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, 2010.

RODRÍGUES, R. M.; BAYÓN, G. M. F. **Roca ornamental – Las pizarras ornamentales en España**. Madrid, Espanha: Rev. Canteras Y Explotaciones, 1997. 22–29 p.

SANTOS, C. G. dos; PALHARES, L. B.; ROSA, E. D. C.; CRUZ, E. F.; COSTA, M. M. da. Adição de rejeitos de extração de ardósia em concreto. **Pós em Revista - Centro Universitário Newton Paiva**, n. 8, 2013.

SILVA, M. J. da. **Elementos de concreto para pavimentação produzidos com agregados de escória de aciaria**. 130 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG, Belo Horizonte, MG, 2011.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Sindicato Nacional da Indústria do Cimento – Relatório Anual 2009**. Rio de Janeiro, RJ, 2010.

SOUZA, J. **Análise ambiental do processo de extração e beneficiamento de rochas ornamentais com vistas a produção mais limpa: aplicação em Cachoeiro do Itapemirim - ES**. 42 p. Dissertação (Especialização em Análise Ambiental) — Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG, 2007.