



LUISA SANTUZZI ALVES

**INCORPORAÇÃO DO RESÍDUO EM PÓ DE MARMORARIA
NA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA
PAVIMENTO INTERTRAVADO**

**LAVRAS - MG
2019**

LUISA SANTUZZI ALVES

**INCORPORAÇÃO DO RESÍDUO EM PÓ DE MARMORARIA NA PRODUÇÃO DE
BLOCOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTO INTERTRAVADO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências pelo Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Rafael Farinassi Mendes
Orientador

**LAVRAS – MG
2019**

LUISA SANTUZZI ALVES

**INCORPORAÇÃO DO RESÍDUO EM PÓ DE MARMORARIA
NA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA
PAVIMENTO INTERTRAVADO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências pelo Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 05 de dezembro de 2019.

Prof. Rafael Farinassi Mendes - UFLA

Prof. André Geraldo Cornélio Ribeiro - UFLA

Prof. Alan Pereira Vilela - UFLA

Prof. Rafael Farinassi Mendes
Orientador

**LAVRAS – MG
2019**

Aos meus pais, Eliseu Azevedo Alves e Romilda Maria Santuzzi Alves, pela educação, carinho, apoio e confiança, em acreditar que esse sonho seria possível.

Aos meus irmãos Filipe e Fernando, pela amizade, apoio e companheirismo.

Aos meus avós que me acompanham e me dão forças para superar cada obstáculo.

As amigadas que aqui foram feitas.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por me permitir viver grandes experiências da vida, por iluminar o meu caminho em busca dos meus objetivos, aprendendo sempre.

A minha mãe, por ter feito da minha vida a sua, por me dar forças, por acreditar em mim e ser meu apoio em qualquer momento.

Ao meu pai, por cada palavra sensata, por me ouvir, por me ensinar e me ajudar a compreender a vida.

Aos meus irmãos, Filipe e Fernando, pelo companheirismo e força, sempre torcendo mutuamente para realização pessoal de cada um.

Aos meus avós, Eliseu e Virginia, Matilde e Romeu, que sempre estiveram e sempre estarão comigo em cada passo da minha vida.

Aos amigos de Vitória, Alana, Luiza Pinheiro, Luisa Bittencourt, Gabriela, Gabriel, Breno, Lucas e Caio, pelo apoio, por torcerem pelo meu sucesso e por estarem sempre presentes, mesmo com a distância.

À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade da realização da graduação. Obrigado a todos os professores, técnicos e funcionários.

A todos os professores do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, por me formar não só como profissional, mas também como pessoa.

Ao meu orientador Rafael Farinassi Mendes, pela orientação, paciência, disposição, ensinamentos e por acreditar na minha capacidade.

Aos alunos da pós-graduação, Nayhara, Nayra, e Tony, pela disposição de cada um para me auxiliar durante a pesquisa.

Ao Time Enactus UFLA e ao Centro Acadêmico, por me proporcionar os melhores ensinamentos da graduação, me desafiando e fazendo crescer a cada dia.

Aos colegas de graduação da Engenharia Ambiental e Sanitária, pela amizade e convívio durante todos esses anos vividos em Lavras.

Aos meus amigos e parceiros, Leandro, Guina, Chris e Ivison, pelo companheirismo, aventuras e por tornarem essa experiência mais leve.

A MoNarquia, por me proporcionar momentos incríveis, pelas amizades e conforto em ter sempre um lar na cidade de Lavras. Obrigada por todo aprendizado e mais profundo amadurecimento. Continuem sendo família.

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

O setor da construção civil é responsável por gerar grande volume de resíduos e o que mais consome recursos naturais. Além da importância socioeconômica do setor no Brasil, apresenta grande potencial de utilização de resíduos na fabricação de produtos do setor. O bloco de concreto intertravado é um material flexível quanto à utilização de resíduos em sua composição, além de ser versátil, produto de baixo custo e fácil aplicação. Junto a isso, a indústria cimenteira constitui uma das maiores fontes poluidoras do mundo. Dessa forma, se fazem necessários estudos que busquem viabilizar a utilização de resíduos na composição de produtos da construção civil, como os blocos intertravados, reduzindo a utilização de cimento, o consumo de recursos naturais, dando destinação aos resíduos. O objetivo desse trabalho foi avaliar a viabilidade da utilização do resíduo de pó de rocha obtido no processo de britagem em marmorarias como matéria prima de blocos de concreto intertravados. A substituição de 15% e 30% do cimento Portland pelo resíduo foi realizada verificando seu efeito sobre as propriedades físicas e mecânicas dos blocos. O resíduo foi analisado quanto à sua composição química e os agregados quanto à granulometria. Os blocos foram produzidos com formulação controle de 15% de cimento Portland, 23% de pedrisco, 31% de areia, 31% de pó de pedra, utilizando a relação água/cimento de 0,7 para o tratamento controle e 0,3 para os tratamentos de 15% e 30%. Depois de produzidos, os blocos contendo resíduo passaram por 28 dias pelo processo de cura, sendo 14 imersos em água e 14 dias em temperatura ambiente sendo hidratados duas vezes ao dia. Em seguida, foram avaliadas as propriedades físicas de absorção de água, densidade aparente e porosidade, as propriedades mecânicas de resistência compressão e propriedades microestruturais utilizando um microscópio digital. A substituição do cimento pelo resíduo teve efeito significativo, reduzindo a absorção de água e a porosidade dos blocos comparados ao tratamento controle. No entanto, para a resistência à compressão, nenhum dos tratamentos atingiu os requisitos mínimos da norma NBR 9781. Entretanto, comparando os blocos de 15% e 30%, não apresentaram alterações nos valores analisados estatisticamente. Com isso, o bloco pode ser destinado à utilização em pavimentações com pequenas cargas, como tráfego de pedestres, sendo o tratamento de 30% mais viável economicamente devido à redução de cimento na composição do bloco.

Palavras-chaves: Reaproveitamento de resíduo. Compósitos cimentícios. Destinação correta. Impacto Ambiental.

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE.....	3
1	INTRODUÇÃO.....	4
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1	Rochas Ornamentais.....	6
2.1.1	O setor de Rochas Ornamentais no Brasil.....	6
2.2	Resíduos Sólidos.....	8
2.2.1	Classificação de resíduos.....	8
2.3	Resíduos do beneficiamento de Rochas Ornamentais.....	9
2.3.1	Reaproveitamento do resíduos.....	12
2.3.2	Composição química do resíduo.....	13
2.4	Pavimento Intertravado.....	14
2.4.1	Normas técnicas do Brasil sobre pavimentos intertravados.....	16
2.4.2	Fabricação dos blocos de concreto.....	17
2.5	Cimento Portland.....	19
2.5.1	Impactos Ambientais causados pela produção do Cimento Portland....	19
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	20
	REFERÊNCIAS.....	21
	SEGUNDA PARTE - ARTIGO.....	27
	ARTIGO 1 - POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO EM	
	PÓ DO PROCESSO DE BRITAGEM PARA A PRODUÇÃO DE	
	BLOCOS DE CONCRETO DESTINADOS À PAVIMENTAÇÃO	
	INTERTRAVADA.....	27
	RESUMO.....	27
1	INTRODUÇÃO.....	27
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	29
2.1	Obtenção e caracterização dos materiais.....	29
2.2	Produção e avaliação dos pavimentos intertravados.....	31
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
3.1	Caracterização da matéria prima utilizada na produção dos blocos de	
	concreto.....	33
3.2	Caracterização física e mecânica dos blocos de concreto.....	39
4	CONCLUSÃO.....	45
	REFERÊNCIAS.....	46

PRIMEIRA PARTE

1. INTRODUÇÃO

A utilização de rochas em construções foi introduzida no Brasil pelos colonizadores portugueses através das edificações religiosas e fortalecimento defensivo ao longo da costa. Até então, utilizavam-se madeira com cobertura de fibras vegetais, formando assim as primeiras construções que eram de caráter mais simples (CUSTÓDIO, 2011). O uso de rochas acompanhou a evolução da humanidade e, devido a sua durabilidade, é possível encontrar marcas de culturas e costumes registradas ao longo da história.

A abundância desse recurso natural no território brasileiro culminou na extração de rochas em várias regiões do Brasil. Embora o desenvolvimento tecnológico dessa atividade tenha ocorrido a partir dos anos 60, a extração de rochas começou a ser destaque como atividade de mineração apenas a partir de 1990 devido ao aumento significativo nas exportações (CETEM, 2014). Atualmente, segundo Montani (2017), o cenário de produção e exportação de rochas ornamentais é de destaque para o Brasil, ocupando posições de 4º e 6º lugar respectivamente, no ranking mundial. Devido a esse cenário, o setor de rochas ornamentais representa significativos índices no que se diz respeito aos setores econômico brasileiro.

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (2019), as exportações brasileiras de rochas ornamentais no ano de 2018 chegaram a 2,20 milhões de toneladas, que possibilitou um faturamento de US\$ 992,5 milhões. Entretanto, a produção de rochas ornamentais é responsável por grande parte da geração de resíduos sólidos dentro do setor industrial da mineração, o que se deve também às baixas taxas de aproveitamento. Sendo assim, o grande potencial de produção e crescimento dessa atividade no país faz com que aumente, concomitantemente, a preocupação com o volume de resíduos gerados bem como seu descarte.

Em busca de avanços na redução de impactos causados por resíduos sólidos e rejeitos, foi instituída a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, uma Lei Federal (12.305/2012), que dispõe sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como diretrizes para gestão integrada e gerenciamento de resíduos, incluindo os resíduos da construção civil. Além de incentivar a responsabilidade compartilhada entre o poder público e privado e o consumidor em relação ao resíduo gerado, a lei incentiva práticas como a reciclagem, reaproveitamento e disposição correta dos resíduos.

Estudos que visam à utilização de resíduos na fabricação de outros produtos do setor da construção civil vêm crescendo cada vez mais, buscando promover a redução dos impactos

ambientais causados muitas vezes pela disposição incorreta no meio ambiente. Dessa forma, se faz necessário o estudo de possibilidades de destinações mais viáveis economicamente e ambientalmente para as empresas desse setor.

Especificamente no segmento de rochas ornamentais, a geração de resíduos tem início desde a extração da rocha como recurso natural, passando pelo processo de beneficiamento primário e secundário (final) da produção de placas até a produção de produtos acabados e semiacabados. O processo de beneficiamento final acontece nas marmorarias onde os retalhos ou sobras das placas são gerados do processo de serragem e corte que visa o enquadramento das placas nas dimensões padronizadas para serem comercializadas. Segundo Oliveira (2015), as perdas por resíduos de retalhos decorrentes do processo de beneficiamento final que ocorre nas marmorarias alcançam cerca de 10 a 20% do volume total. Desta forma, o grande volume de resíduos sólidos gerado geralmente é acumulado em fundos das marmorarias, depositados assim de forma incorreta.

Algumas alternativas de aproveitamento de parte desses resíduos já existem, como por exemplo, a fabricação de peças decorativas a partir dos particulados grandes. Para os particulados pequenos, o aproveitamento pode ser feito a partir da utilização do resíduo em pó dos retalhos como matéria prima para a fabricação de compósitos cimentícios.

Os compósitos cimentícios são materiais formados pela mistura de água, cimento, agregados graúdo e miúdo no qual tem a possibilidade de agregar materiais residuais em suas composições. Além disso, os compósitos cimentícios podem substituir os materiais utilizados atualmente para a fabricação de produtos na construção civil, como telhas, blocos estruturais, de vedação e para pavimentação.

Em relação à pavimentação, existem grandes vantagens na utilização de blocos de concreto intertravados devido baixo custo de produção e manutenção com uso de equipamentos simples e mão de obra não especializada, até a possibilidade de serem moldados em diferentes formatos. Além disso, comparado aos outros tipos de pavimentos, o pavimento intertravado tem maior durabilidade, reduz a temperatura no ambiente e tem grande capacidade de drenagem possibilitando também o retorno da água ao solo devido ao método de encaixe dos blocos e suas fissuras.

Dessa forma, frente à problemática do grande volume de resíduo sólido gerado no beneficiamento final das rochas ornamentais, bem como as formas incorretas de deposição ao meio ambiente, o objetivo deste trabalho é estudar os comportamentos físicos e mecânicos de blocos de concreto intertravados produzidos a partir da substituição de parte do cimento

Portland por resíduo de pó de rochas ornamentais, incorporando assim o resíduo em outro produto da construção civil e permitindo agregação de valor e destinação adequada.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Rochas Ornamentais

De acordo com a norma NBR 15012 (ABNT, 2013), a termologia rocha ornamental é definida como um material pétreo natural, no qual são utilizados em estruturas, revestimentos externos e internos de paredes, elementos de decoração, composição arquitetônica, mercado mobiliário, entre outros.

Segundo Almeida e Chaves (2002), são consideradas rochas ornamentais as rochas extraídas em formato de blocos que, em sua maioria, são serradas em placas, podendo ser utilizadas na construção civil, no urbanismo e para decorações.

As denominações para rochas ornamentais são variadas, podendo também ser intituladas como rochas dimensionais, pedras naturais, rochas lapídeas e materiais de cantaria, sendo estes produtos do desmonte de materiais rochosos extraídos da natureza em forma de blocos e chapas, que são cortados e beneficiados por meio do processo de desdobramento, posteriormente, o polimento, corte e acabamento (SOARES, 2014).

As rochas ornamentais, que são comercializadas em formato de placas, são subdivididas comercialmente em dois principais tipos, granito e mármore. Além disso, outras rochas são comercializadas dentro do setor como a ardósia, quartzito, arenito e calcário (CETEM, 2014).

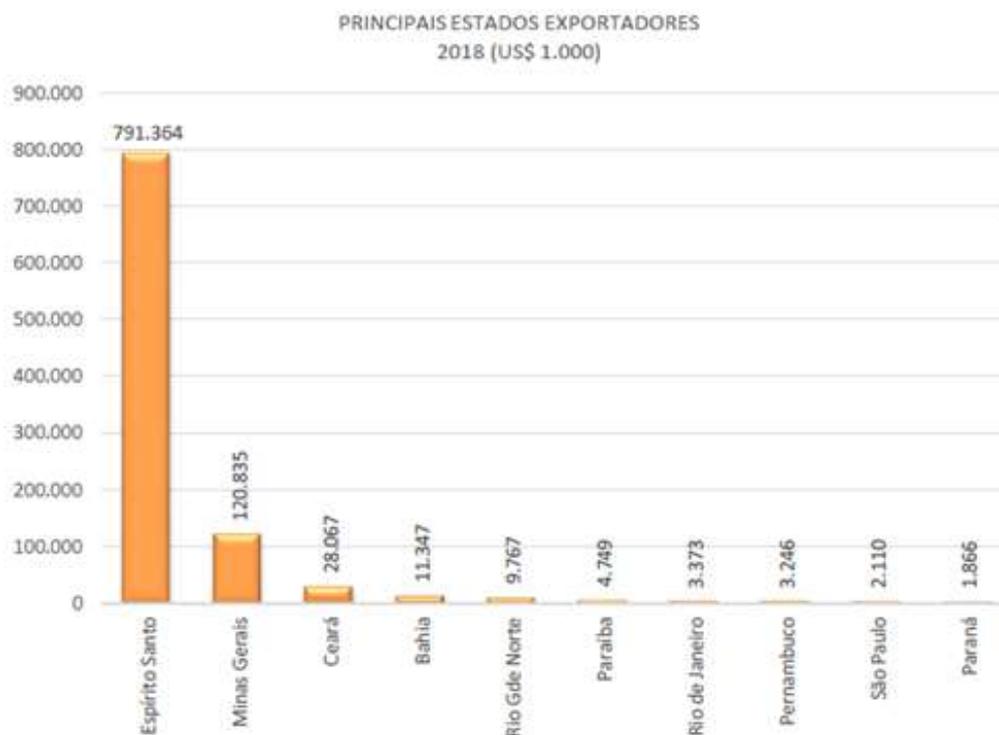
2.1.1. O setor de Rochas Ornamentais no Brasil

O segmento de rochas ornamentais e de revestimento é um dos que mais apresenta constante desenvolvimento dentro da indústria mineral brasileira. O ano de 2013 foi marcado por superar recordes históricos das exportações brasileiras em faturamento e volume físico. Além de registrar importantes avanços tecnológicos incorporados nos processos de lavra e beneficiamento dos blocos, o mercado de vendas foi direcionado principalmente para a China e Estados Unidos. Em números, o ano de 2013 somou, com as exportações, US\$ 1,3 bilhão e 2,73 Milhões de toneladas, aumentando respectivamente 22,8% e 21,8% comparado ao ano de 2012. No intervalo entre os anos de 2013 a 2017, o balanço da exportação brasileira de rochas ornamentais registrou um recuo de 0,1% da participação do setor no total das exportações

brasileiras (ABIROCHAS, 2018). De acordo com a Associação Brasileira de Rochas Ornamentais (2019), o país exportou, no ano de 2018, rochas ornamentais para 120 países sendo os principais destinos, EUA, China e Itália. Além disso, houve uma significativa recuperação das exportações brasileiras do setor registrada no período de setembro a dezembro de 2018, comparado ao primeiro semestre de 2018 e de 2017. No total, as exportações de rochas em 2018 somaram US\$ 992,5 milhões e 2,20 milhões toneladas. Estima-se que para o primeiro semestre de 2019, há uma tendência para que essa recuperação do setor persista, melhorando o desempenho do setor para o ano vigente.

Os estados brasileiros que mais contribuíram para a participação do país no cenário mundial em 2018 foram, em sequência, Espírito Santo, Minas Gerais, Ceará e Bahia (Figura 1).

Figura 1: Principais estados brasileiros exportadores de rochas ornamentais do ano de 2018.



Fonte: ABIROCHAS (2019).

Em termos percentuais, o Espírito Santo teve participação no total do faturamento de 79,7% e no total do volume físico de 71,5% das exportações brasileiras de rochas. Em seguida, Minas Gerais com 12,2% e 16,7% respectivamente, do total brasileiro. Evidenciando uma tendência de crescimento, o estado do Ceará exportou US\$ 28,1 milhões e 39,8 mil toneladas (ABIROCHAS, 2019). Os dados dos estados que mais exportaram rochas

ornamentais indicam também, na mesma ordem, os maiores produtores de rochas, sendo a região sudeste com maior participação, seguida da região nordeste.

Em relação às atividades setoriais de rochas ornamentais no cenário interno do Brasil, as marmorarias representam cerca de 60% das empresas, sendo responsáveis por maior parte da geração de empregos no país dentro desse setor. Em 2017 foram estimados cerca de 60.000 empregos gerados (ABIROCHAS, 2018).

2.2. Resíduos Sólidos

A norma NBR 10004 (ABNT, 2004) define os resíduos que resultam de atividades de origem hospitalar, doméstica, comercial, agrícola, industrial e outros como resíduos sólidos e semissólidos, além de incluir nessa definição alguns resíduos líquidos, como os lodos gerados nos sistemas de tratamento de água, determinados efluentes contendo partículas finas e ultrafinas de minerais ou rochas e também resíduos de instalações e equipamentos de controle de poluição.

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010), resíduos sólidos podem ser definidos como:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (PNRS, 2010).

Especificamente, os resíduos de construção civil e demolição (RCD) e de demolição são denominados como resíduos provenientes dos processos de demolição e construção, bem como os reparos de demolições e obras da construção civil e os que são gerados na preparação e escavação de terrenos. Desta forma, esses resíduos comumente chamados de entulho, podem ser blocos cerâmicos, tijolos, concretos em geral, metais, resinas, rochas, tintas, madeiras e compensados, argamassa, pavimento asfáltico, tubulações e entre outros (CONAMA, 2002).

2.2.1. Classificação de resíduos

A primeira etapa para a estruturação de um adequado plano de gestão dos resíduos gerados em qualquer atividade é a classificação dos mesmos. A partir disso, pode-se definir a

coleta, o transporte seguido do armazenamento, manipulação, tratamento e por fim a destinação final, estando relacionado com cada tipo de resíduo gerado.

Desta forma, a classificação dos resíduos envolve a análise para identificação do processo em que tais resíduos foram gerados, suas características e constituintes. É possível comparar os constituintes com a lista de resíduos e substâncias no qual se tem o conhecimento dos impactos ao meio ambiente e a saúde (NBR 10004, 2004).

Segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004), os resíduos sólidos são classificados como:

- a) Resíduos classe I – Perigosos;
- b) Resíduos classe II – Não perigosos;
 - Resíduos classe II A – Não inertes;
 - Resíduos classe II B – Inertes.

Os resíduos de classe I são aqueles que apresentam característica de periculosidade, com riscos à saúde pública e ao meio ambiente. Esses resíduos exigem tratamento e disposição especiais devido as suas características que podem variar entre inflamabilidade, reatividade, corrosividade, patogenicidade e toxicidade.

Os resíduos de classe II A, não inertes, não apresentam periculosidade e podem ter propriedades como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água. Normalmente são os resíduos com característica de resíduos domésticos.

Os resíduos de classe II B, inertes, são quaisquer resíduos que quando submetidos aos testes de solubilização, não apresentam constituintes solubilizados com concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, segundo a norma NBR 10004 (2004). Ou seja, que a água permaneça potável quando em contato com esse tipo de resíduo.

De acordo com Mota et al. (2012), os resíduos de rochas ornamentais são materiais inertes, não tóxicos e nem biodegradáveis, sendo assim classificados como Classe II B, mesma classe da maioria dos resíduos de construção civil.

2.3. Resíduos do beneficiamento de Rochas Ornamentais

Os resíduos sólidos gerados na cadeia produtiva de rochas ornamentais normalmente são classificados por tamanho, em grossos, finos e ultrafinos, sendo estes não perigosos e inertes (ROSATO, 2013).

Os resíduos grossos são gerados praticamente em toda a cadeia produtiva, nas atividades de lavra nas pedreiras e no beneficiamento em serrarias e marmorarias. Já os

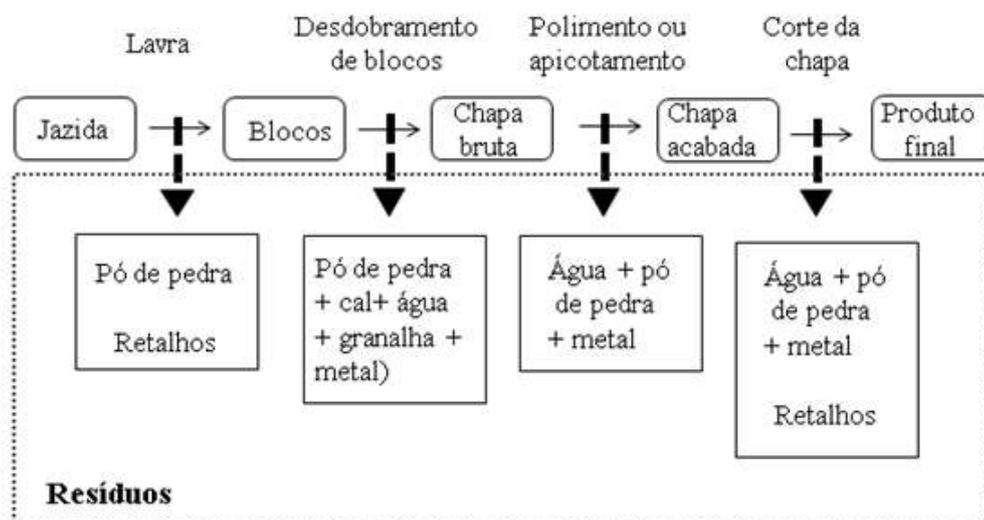
resíduos finos e ultrafinos, que são formados pelo corte da rocha e nas atividades de acabamento, são mais comuns nas serrarias e marmorarias (CAMPOS et al., 2009).

De acordo com o Instituto Euvaldo Lodi - ES (2013), os processos da cadeia produtiva das rochas ornamentais são divididos basicamente em:

- Extração: que consiste na remoção das rochas em forma de blocos nas lavras;
- Beneficiamento primário: também conhecido como serragem ou desdobramento, é a etapa que constitui do corte dos blocos para obtenção de chapas;
- Beneficiamento final: denominado também de acabamento, consiste na etapa em que as peças tomam aparência definitiva com formatos e dimensões. Essa etapa pode ser subdividida em acabamento, corte e o acabamento final.

A geração de resíduos na cadeia produtiva das rochas ornamentais ocorre desde a etapa de extração até a de beneficiamento final, sendo que cada etapa se diferencia pelo tipo de resíduo gerado, podendo variar entre resíduos sólidos e líquidos, como demonstra no esquema representado pela Figura 2

Figura 2: Esquema representativo da cadeia de produção de rochas ornamentais desde a extração dos blocos até a obtenção do produto final e seus resíduos gerados em cada processo.



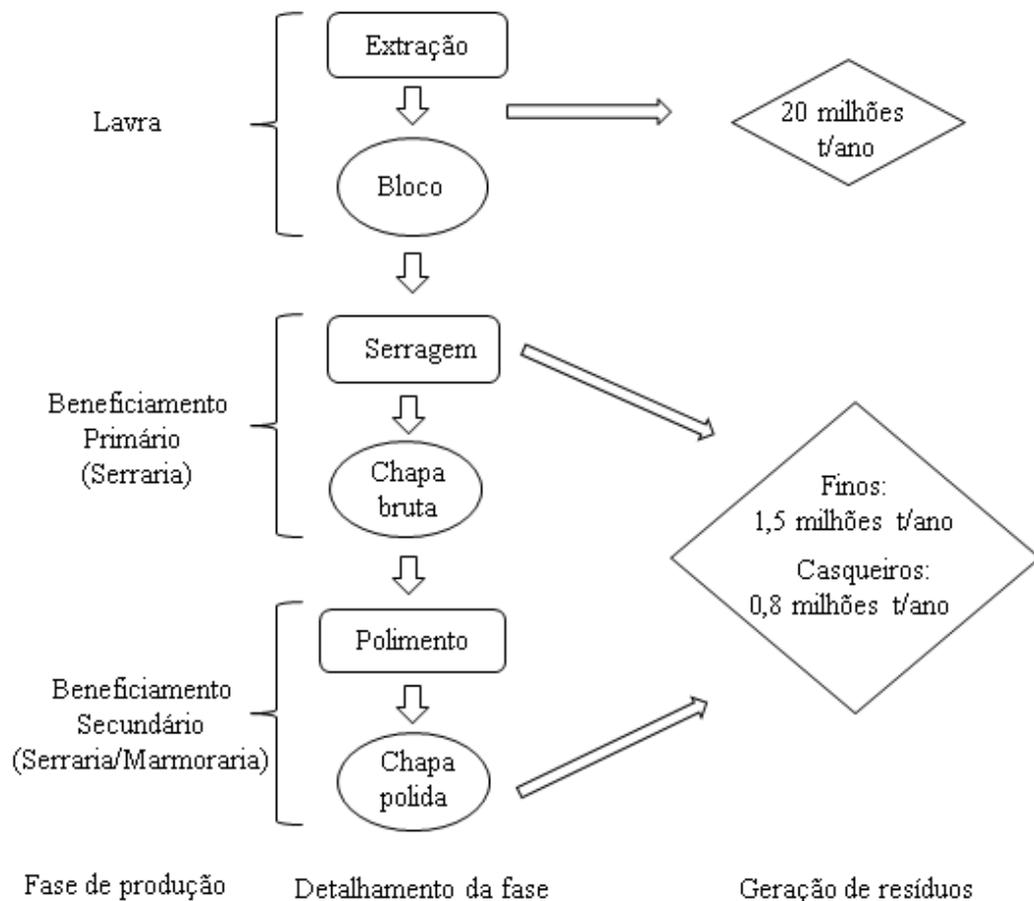
Fonte: Adaptado de GOMES et al. (2004)

Os processos de beneficiamento das rochas ocorrem nas serrarias e marmorarias, no qual as serrarias são indústrias voltadas essencialmente à serragem de blocos, para polimento, lustro e venda de chapas podendo também fabricar produtos acabados. Já as marmorarias são empresas que preparam produtos sob medida, personalizados ou padronizados para o consumidor final a partir de placas (GOBBO, 2004).

As marmorarias são responsáveis pela geração do resíduo de lama que é resultante do processo de recorte, polimento e lustro de peças que são confeccionadas a partir das chapas.

Outros resíduos gerados são os retalhos e pó de rochas, originado das sobras e quebras de peças. Tais resíduos podem chegar a equivaler, respectivamente, uma perda de 2% e 20 % do total de volume processado no beneficiamento final (GOBBO, 2004). Segundo Campos (2014), as perdas de matéria-prima, considerando todo o processo de transformação das rochas ornamentais, podem chegar a 80%. A Figura 3 mostra os números em toneladas da quantidade de resíduo gerado em cada etapa.

Figura 3: Fluxograma da cadeia produtiva das rochas ornamentais acompanhado do volume de resíduos gerados em cada etapa das fases de produção.



Fonte: Adaptado de CAMPOS et al. (2014)

A taxa média de aproveitamento até a produção de chapas é considerada no Brasil cerca de 17%, sendo estimado no ano de 2012, um pouco mais de 22 milhões de toneladas de resíduos, como mostrado na Figura 3. No processamento de blocos nas serrarias, o resíduo gerado é de 40% do volume do bloco processado, divididos em 26% (1,5 milhões toneladas por ano) de resíduo muito fino (pó de rocha) com insumos da serragem e 14% (0,8 milhões

de toneladas por ano) de resíduo grosso que são os restos dos aparelhamentos dos blocos na forma de casqueiro (CAMPOS, 2014).

2.3.1. Reaproveitamento de resíduos

Os resíduos gerados no processo de beneficiamento final, ou acabamento, são caracterizados como resíduos finos (2-0,075 mm) e ultrafinos (<0,075 mm). Esses resíduos podem ser utilizados como corretivo de solo, produção de compósitos cimentícios, tijolos e cerâmicas (SANTOS, GALEMBECK, 2016).

Pesquisadores como Moura, Gonçalves e Leite (2002), Gameiro et al. (2014), avaliaram os efeitos nas propriedades mecânicas e físicas de compósitos cimentícios com a incorporação do resíduo de marmoraria de formas diferentes, associando o uso de um material sem valor econômico para a empresa e solucionando o problema de descarte do resíduo gerado.

Gonçalves (2000) testou a produção de concreto utilizando o resíduo de corte de granito em frações de 10% e 20% em relação à massa de cimento Portland. O autor concluiu que comparado aos concretos de referência, a substituição de 10% do resíduo obteve melhores resultados de resistência.

Apolinário (2014) avaliou percentuais de 5%, 10% e 15% de resíduo de corte de mármore e granito em argamassas, em que, referente à resistência mecânica, resultou satisfatoriamente para a substituição de 5% e 10% do resíduo à mistura. O autor concluiu que o resíduo pode ser utilizado como filler (materiais que não possuem atividades pozolânicas nem cimentante como os materiais carbonáticos, pó de pedra e de quartzo) em matrizes cimentícias.

Nobrega (2014) utilizou pó de pedra ornamental para substituição parcial do cimento na produção de argamassas, obtendo resultados de redução da resistência do material para adições acima de 15% do resíduo à mistura.

Pires e Filho (2015) produziram blocos de concreto intertravados substituindo 33,8% da massa do cimento por resíduos de PET, e com a adição de aditivos, obtiveram resultados satisfatórios quanto à resistência.

Silva et al. (2016) substituíram 20% da massa do cimento por resíduos de borracha de pneus e adicionou o resíduo da construção civil retirado de canteiro de obras moído para a produção de blocos de concreto, obtendo resultados satisfatórios quanto à compressão.

Filho e Martins (2017) utilizaram as cinzas provenientes do bagaço da cana-de-açúcar para confecção de blocos de concreto intertravado substituindo 25% da massa do agregado miúdo por cinza pesada e 2,5% da massa do cimento Portland por cinza leve atendendo as recomendações da norma NBR 9781:2013 (Peças de concreto para pavimentação — Especificação e métodos de ensaio).

2.3.2. Composição química do resíduo

A composição química dos resíduos gerados na cadeia produtiva das rochas ornamentais, segundo Oliveira (2015), depende da mineralogia dos tipos das rochas que a empresa utiliza. Sendo assim, cada tipo de bloco rochoso contém diferentes proporções químicas.

Segundo Campos et al. (2014), os resíduos rochosos do tipo silicato e carbonático apresentam características necessárias para a fabricação de produtos a base de concreto, como os pavimentos intertravados. Esses resíduos tendem a proporcionar estabilidade ao pavimento, bem como a dureza e resistência à compressão e à abrasão devido à formação do CaOH no processo de hidratação que reage posteriormente com a sílica formando o componente responsável por proporcionar essas características ao bloco de concreto.

De acordo com Nobrega et al. (2014), a sílica e o CaO são um dos principais componentes do cimento Portland. Os materiais de estudos a serem utilizados na substituição do cimento que apresentam porcentagens desses componentes tendem a ter boa interação com o cimento, sendo que essa interação pode ser interferida não só pela composição química, mas também pela granulometria do material. Dessa forma, a análise química realizada por Nobrega et al. (2014) no resíduo de pó de pedra, apresentou presença predominante da sílica e CaO (Tabela 2).

Tabela 2: Porcentagem dos componentes presentes no resíduo de pó de pedra ornamental seco, obtido a partir da técnica de Fluorescência de Raios-X.

Componentes	Porcentagem (%)
SiO ₂	43.627
CaO	26.039
Al ₂ O ₃	12.183
MgO	7.916
Fe ₂ O ₃	4.653
K ₂ O	3.268
SO ₃	2.142
MnO	0.080
Tm ₂ O ₃	0.059
ReO ₂	0.031
ZnO	0.002

Fonte: Adaptado de NOBREGA et. al. (2014)

As principais características que indicam a compatibilidade do resíduo de pó de rocha ornamental com as matrizes cimentícias é sua composição química e sua forma granular fina. Tais características fazem com que o resíduo tenha bom potencial para ser utilizado como adição ou substituição mineral em materiais a base de concreto, podendo agir como filler (GONÇALVES, 2000).

2.4. Pavimento Intertravado

Pavimentos intertravados são compostos por blocos pré-moldados de concreto no qual são utilizados para reconstrução ou reformação de instalações urbanas como praças, calçadas e ruas. Além disso, esse tipo de instalação pode ser utilizado para áreas de grande tráfego tanto em volume quanto em cargas, como em áreas industriais, aeroportos e pátios (ABCP, 2005).

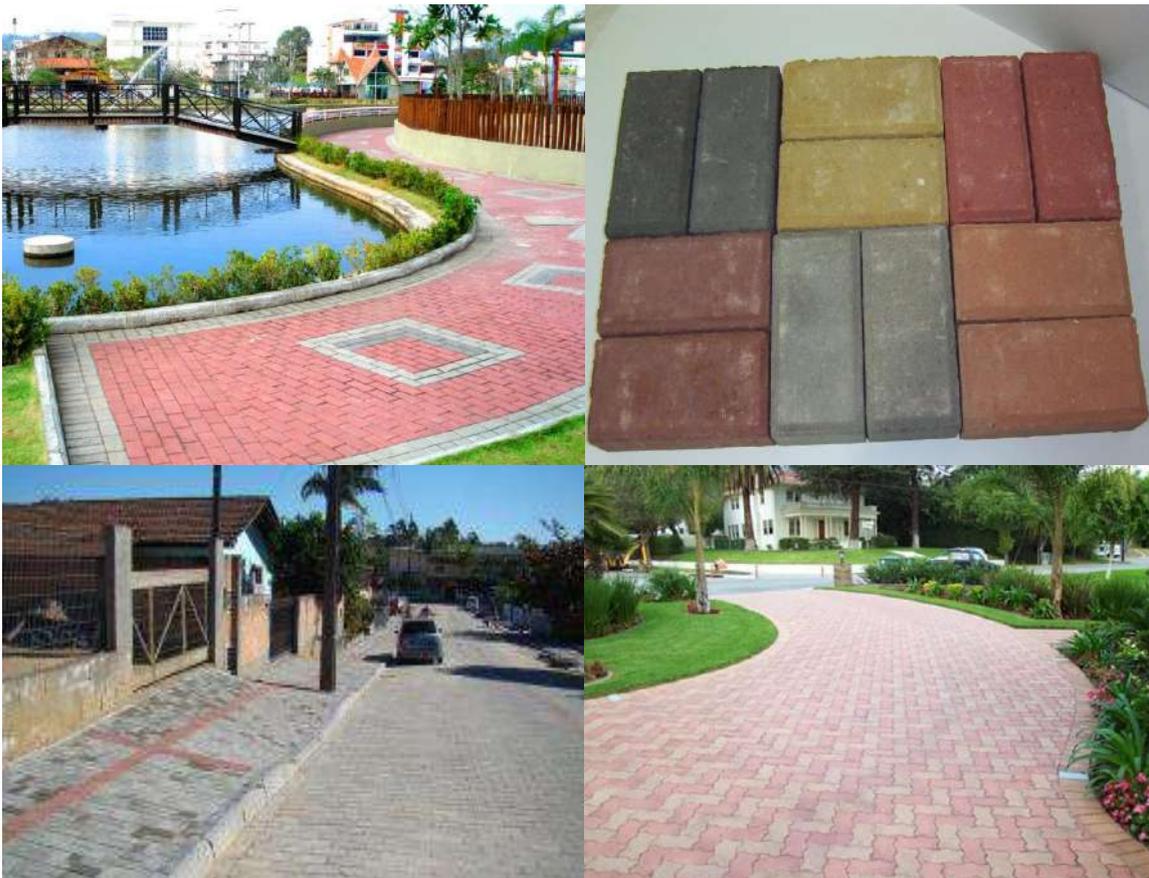
Os pavimentos intertravados podem ser utilizados em diferentes ambientes como em espaços de lazer, praças, calçadas, indústrias e rodovias devido à grande durabilidade e resistência do concreto. Além disso, o pavimento intertravado apresenta vantagens quanto ao impacto ao final da sua vida útil por serem recicláveis e também, a produção do concreto é menos poluente quando comparada à produção do asfalto (HALLACK, 2011).

Segundo o levantamento de Fioriti (2007), concluiu-se que os países que mais utilizam os pavimentos intertravados nas estradas são os que estão em desenvolvimento como Costa Rica, Colômbia e Nicarágua. Já no Brasil, a aplicação dos pavimentos intertravados, segundo

Funtac (1997) é conhecido desde 1940, na qual eram utilizados blocos de tijolos de argila na região norte do país.

Atualmente são facilmente encontrados pavimentos construídos com blocos de concreto intertravados em diferentes locais como praças, calçadas, estacionamentos e ruas no Brasil. Além da sua funcionalidade estrutural, o pavimento pode assumir aspecto decorativo por suas diferentes formas e cores (Figura 4).

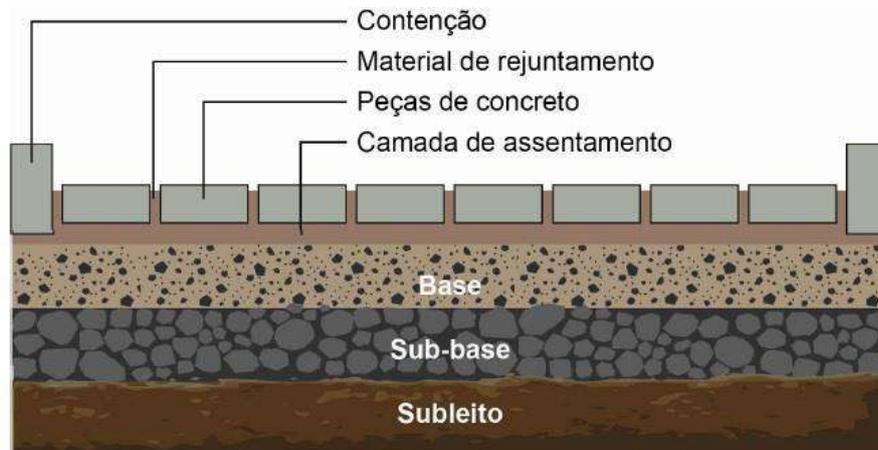
Figura 4: Exemplos de espaços pavimentados com blocos de concreto intertravados e variações de formatos e cores.



Fonte: Padrão Engenharia e Construções (2019); Prefeitura de Indaial (2016).

Segundo Nascimento (2016), os blocos de concreto intertravados são utilizados como material de revestimento em pavimento intertravado, cujo pavimento é flexível composto por uma camada base (ou base e sub-base), onde o bloco é assentado diretamente sobre uma camada de areia que serve de regularização da base e acomoda a peça na distribuição das cargas. As juntas entre as peças são preenchidas por material de rejuntamento e o intertravamento é proporcionado pelo sistema de contenção como mostrado na Figura 5.

Figura 5: Camadas de nivelamento típicas de um pavimento intertravado.



Fonte: ABCP (2016)

A utilização do pavimento intertravado tem como principais vantagens a redução da temperatura do ambiente devido à rapidez na dispersão dos raios solares, causando maior conforto térmico, capacidade de permeabilidade e de fácil manutenção (ABCP, 2005).

Comparado aos convencionais, o pavimento intertravado de concreto é uma alternativa viável economicamente, eficaz e moderno, quando se trata de tecnologia e material. Além disso, a produção de blocos de concreto para pavimento utilizando resíduos vem aumentando cada vez mais como instrumento de estudos em pesquisas (SALGADO, 2018).

A alternativa de utilizar resíduos na produção de blocos faz com que haja a diminuição dos impactos causados pelo consumo exagerado de matéria-prima, além de reduzir o volume de resíduos a serem dispostos no meio ambiente.

2.4.1 Normas técnicas do Brasil sobre pavimentos intertravados

A norma da ABNT que se refere aos pavimentos intertravados no Brasil é a NBR 9781:2013 (Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio) que determina as condições mínimas de parâmetros como resistência e compressão para a utilização dos blocos em calçadas, vias urbanas, rodovias e outros. Algumas das considerações e definições presentes na norma estão descritas a seguir:

- Os blocos de concreto são peças de concreto pré-moldadas utilizadas como camada de revestimento em pavimento intertravado, sendo esta, necessariamente, a camada posterior à camada de base (ou sub-base);

- Como requisitos gerais, o concreto utilizado para a fabricação dos blocos permite o uso de aditivos e pigmentos, devendo ser composto basicamente por agregados miúdos e graúdos, água e cimento Portland;
- O formato geométrico regular dos blocos devem ter dimensões de comprimento máximo de 250 mm, medida real da largura de no mínimo 97 mm, espessura de no mínimo 60 mm;
- Como tolerância dimensional, as variações máximas permitidas são, em milímetro, 3x3x3 (comprimento, largura e espessura).
- A resistência característica à compressão deve ser ≥ 35 MPa para tráfego de pedestres, veículos comerciais de linha e leves;
- Para utilização em ambientes de tráfego de veículos especiais ou cargas, capazes de produzir efeitos de abrasão, os blocos devem apresentar resistência à compressão de ≥ 50 MPa.

2.4.2. Fabricação dos blocos de concreto

As máquinas de vibro prensa são utilizadas no processo de fabricação dos blocos intertravados no qual podem variar de tamanho, sendo comercializadas dos tipos manuais, pneumáticas e hidráulicas. Esses equipamentos também podem ser utilizados para produzir blocos de concreto de vedação, estrutural e outros (PURIFICAÇÃO, 2009).

O processo produtivo vibro prensado, segundo Marchioni (2012), demanda necessariamente que tenha definido qual a peça a ser produzida devido a especificidade da resistência mecânica de cada uma, o formato e a cor, além do fator a ser considerado na escolha da matéria-prima (teor de umidade), formulação do concreto a seco e as configurações que o equipamento de vibro compressão assumirá.

Os materiais utilizados na produção dos blocos apresentam funcionalidades específicas no qual as determinações de suas proporções e as formas de mistura são etapas importantes para garantir a qualidade do produto final.

Os fatores que influenciam diretamente na resistência do concreto são os teores do cimento Portland e a relação água/cimento, posteriormente a granulometria e os tipos de agregados utilizados (CAMPOS, 2019).

O cimento CP V ARI, é o mais utilizado devido à sua característica de alta resistência inicial e rapidez no endurecimento, ou seja, alta velocidade no desenvolvimento de resistência que é ocasionado pelo grande desprendimento de calor de hidratação (GALVÃO, 2003).

A água tem função na reação de hidratação do cimento e é utilizada tanto na mistura quanto no processo de cura do material, sendo um importante fator na resistência do concreto. A quantidade de água utilizada no processo da mistura é relacionada ao fator água/cimento que é um grande responsável por parte das propriedades obtidas pelo concreto (FRANÇA, SIMÕES, GOMES, 2018; GALVÃO, 2003).

Os agregados constituem grande parte da massa do concreto, sendo estes divididos em agregados graúdos e miúdos. Segundo a NBR 7211 (ABNT 2009), os agregados graúdos são os grãos que apresentam granulometria menor que 75mm e maior que 4,75mm. Já os agregados miúdos são menores que 4,75mm. A utilização de agregados na produção da massa de concreto, segundo Galvão (2003), proporciona maior estabilidade dimensional e durabilidade, além de redução do custo de produção.

O processo de produção do concreto inicia-se na formulação das melhores proporções no qual influencia na qualidade e na coesão do concreto no estado endurecido e seco, respectivamente. Para que haja maior precisão, os materiais devem ser dosados em massa, exceto a água e aditivos medidos em volume. Depois de preparadas às quantidades de cada material, é realizada a mistura formando a massa e assim inicia-se o processo de vibro prensagem através da máquina de vibro compressão, obtendo os blocos. Os blocos passam então para a etapa de cura que garante a hidratação adequada do cimento influenciando diretamente na resistência mecânica e durabilidade (OLIVEIRA, 2004; SALGADO, 2018).

A realização de uma boa cura do concreto é essencial para produzir estruturas de concreto duráveis e resistentes, com melhor desempenho mecânico e com maior capacidade de resistir às variações do meio ambiente (NASCIMENTO, 2016).

A cura tem como objetivo manter o concreto saturado ou o mais próximo possível dessa condição até que, com o tempo, os espaços contendo água passem a ser ocupados pelos produtos obtidos no processo de hidratação do aglomerante. Com isso, a escolha do método a ser utilizado da cura depende do tipo e condições da obra, o tipo da peça que será curada além dos requisitos de características que estarão submetidas. Dessa forma, alguns exemplos de cura são por irrigação (aspersão de água contínua em determinado intervalo de tempo), submersão (peça de concreto submersa em água, podendo conter cal na água) e recobrimento (recobrimento com lona para evitar efeito direto do sol e do vento, comumente utilizado em obras) (MOTA, 2014; NASCIMENTO, 2016).

2.5. Cimento Portland

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ACBP – 2016), o cimento Portland é um produto obtido através do processamento físico/químico e beneficiamento de substâncias minerais, encontradas como recurso natural. Os subprodutos utilizados como matérias primas na fabricação do cimento são extraídas de rochas calcárias e argila que consiste em carbonato de cálcio, sílica, alumínio e minério de ferro. Dentre os diversos materiais utilizados na construção civil, o cimento Portland é a principal commodity mundial.

O cimento contém propriedades aglomerantes, ligantes ou aglutinantes que faz com que, em contato com a água, ganhe consistência até ficar enrijecido. Na forma de concreto (mistura de areia, cimento e brita), pode facilmente ganhar formas, trazendo flexibilidade para necessidades específicas nas demandas de utilização em obras (SNIC, 2016).

2.5.1. Impactos Ambientais causados pela produção do Cimento Portland

A matéria-prima utilizada para produção do cimento Portland é originada da atividade mineradora, considerada atividade que gera impactos ambientais de elevado grau, afetando diretamente não só a fauna e a flora, mas também a sociedade.

A produção do cimento, embora o setor esteja adotando diversas ações para redução dos impactos causados com uso de novas técnicas e equipamentos, ainda é causador de muitos problemas quanto às degradações e alterações ao meio ambiente e também de danos à saúde (MAURY e BLUMENSCHNEIN, 2012).

O processo de fabricação de cimento produz poluentes como material particulado, óxidos de nitrogênio e enxofre e dióxido de carbono, sendo o último, um dos principais gases do efeito estufa. O órgão ambiental norte-americano - United States Environmental Protection Agency (USEPA) - afirma que a indústria de fabricação do cimento é uma das principais fontes de emissão de dioxinas e furanos, considerados poluentes atmosféricos perigosos, e também metais tóxicos como, por exemplo, o mercúrio, cádmio, chumbo e arsênio (USA, 1991; USEPA, 1996, citado por SANTI; SEVÁ FILHO, 2004)

O cimento é utilizado em larga escala nas construções urbanas, considerado o material feito pelo homem mais amplamente usado que existe. Além disso, é considerado o recurso mais consumido no mundo, perdendo apenas para a água. Entretanto, grandes efeitos colaterais sobre o clima vêm sendo causados devido ao alto nível de consumo. Segundo o instituto de pesquisa britânico Chatham House, a produção mundial de cimento em 2016

gerou cerca de 2,2 bilhões de toneladas de CO₂ o que representa 8% de toda a emissão mundial de CO₂. (BBC News, 2018; GREEN ME, 2018).

Estudos que viabilizam a substituição de parte do cimento Portland utilizado na produção de matrizes cimentícias por resíduos, podem contribuir para a diminuição do alto consumo desse material na construção civil, contribuindo também na redução dos impactos ambientais que a produção desse material causa. Nesse viés, o presente trabalho visa à substituição de parte do cimento utilizado na confecção de blocos intertravados contribuindo para todos esses fatores.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A importância econômica e social do setor de rochas ornamentais no Brasil e suas expectativas de crescimento potencializa a necessidade de estudos a fim de viabilizar alternativas para o reaproveitamento dos resíduos que são gerados em todo o processo de produção de rochas ornamentais. Tais necessidades se devem principalmente aos impactos negativos causados ao meio ambiente com a extração da rocha, utilização de recurso natural como principal matéria prima, grande volume de resíduos gerados no processo de produção e muitas vezes dispostos incorretamente.

Com isso, estudos que analisam a utilização dos próprios resíduos do setor da construção civil e também de outros setores para confecção de produtos de matrizes cimentícias, se mostraram possíveis quando utilizados em determinadas porcentagens que não alteraram significativamente as características físicas e mecânicas do produto final. Desta forma, o estudo de incorporação de resíduos nos blocos de concreto intertravados apresentam grandes vantagens devido à flexibilidade de esses blocos receberem resíduos na sua composição, baixo custo de produção comparado a outros produtos de revestimento e facilidade de produção e manutenção. Além disso, os blocos de concreto são passíveis a reciclagem quando descartados ao final da sua vida útil.

REFERÊNCIAS

ABCP Associação Brasileira de Cimento Portland. **Banco de Pautas**, 2017. Disponível em <https://www.abcp.org.br/quem-somos/apresentacao/associacao-brasileira-de-cimento-portland/>. Acesso em: 9 nov. 2019.

ABCP Associação Brasileira de Cimento Portland. **Banco de Pautas**, 2016. Disponível em: <https://www.abcp.org.br/basico-sobre-cimento/basico/basico-sobre-cimento/>. Acesso em: 9 nov. 2019.

ABCP Associação Brasileira de Cimento Portland. **Pavimento Intertravado**. [s.n.]: São Paulo, 2017. Disponível em: <https://www.abcp.org.br/download/pavimento-intertravado-folder/>. Acesso em 7 nov. 2019.

ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Balanço das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais. Belo Horizonte, 2019.

ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Situação Brasileira do Setor de Rochas Ornamentais. São Paulo, 2012.

ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. O Setor Brasileiro de Rochas Ornamentais. Brasília, 2018

ALENCAR, C. R. A. Instituto Euvaldo Lodi. **Manual de caracterização, aplicação, uso e manutenção das principais rochas comerciais no Espírito Santo: rochas ornamentais** / Instituto Euvaldo Lodi - Regional do Espírito Santo. Cachoeiro de Itapemirim, 2013. p. 28-29. Disponível em: <https://www.sindirochas.com/arquivos/manual-rochas.pdf>. Acesso em: 10 out. 2019.

ALMEIDA, S. L. M. de.; CHAVES, A. P. **Aproveitamento de Rejeito de Pedreiras de Santo Antônio de Pádua - RJ**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002. p. 69.

APOLINÁRIO, E. C. A. (2014). **Influência da adição do resíduo proveniente do corte de mármore e granito (rcmg) nas propriedades de argamassas de cimento portland**. 2014. 190 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Universidade Federal da Bahia, Salvador. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio**, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15012: Rochas para revestimento e edificações: Terminologia**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15012: Rochas para revestimento e edificações: Terminologia**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 721: Agregados para concreto – Especificação**, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos: Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

BRASIL **Lei n.º 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 10 de out. 2019

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. (2002) **Resolução CONAMA nº. 307, de 5 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil. Ministério do Meio Ambiente: CONAMA, 2002. Diário Oficial da União. Brasília, DF: Imprensa Oficial.

CAMPOS, M. A. et al. Utilização de fíler cerâmico e sílica ativa na composição de argamassa com baixo teor de cimento. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 7, p. 9876-9890, jul. 2019

CAMPOS, A. R. et al. Resíduos: tratamento e aplicações industriais. In: Vidal, W. F. H., AZEVEDO, H. C. A. e CASTRO, N. F. **Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento**. Rio de Janeiro: CETEM (Centro de Tecnologia Mineral) e MCTI (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação), 2014 p. 431-492.

CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 22., 2016, Natal. Anais eletrônicos... Natal, 2016. Disponível em: <http://www.metallum.com.br/22cbecimat/anais/> Acesso em: 10 out. 2019.

CUSTÓDIO, J. de A. C. A arquitetura de defesa no Brasil Colonial. **Discursos Fotográficos**, Londrina, v. 7, n. 10, p.173-194, jan/jun 2011. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/discursosfotograficos/article/view/9224/7848>. Acesso em: 29 mai. 2019.

FERNANDES, F. R. C.; ALAMINO, R. C. J. de.; ARAUJO, E. **Recursos minerais e comunidade**: impactos humanos, socioambientais e econômicos. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014. p. 379.

FILHO, S. T. M.; MARTINS, C. H. Utilização da cinza leve e pesada do bagaço de cana-de-açúcar como aditivo mineral na produção de blocos de concreto para pavimentação. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 10, n. 4, p. 1205-1224, out./dez. 2017

FIORITI, C. F. **Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo**. 2017. 194 p. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

FRANÇA, D. A. de.; SIMÕES, M. T.; GOMES, K. N. A. E. do. Tijolo solo - cimento: processo produtivo e suas vantagens econômicas e ambientais. **Revista Científica de Engenharia Civil**, v. 01, n. 01, 2018.

FUNTAC, 1997. **Fundação de Tecnologia do Estado do Acre.**

GALVÃO, J. C. A. **Estudo das propriedades dos concretos confeccionados com cimento CP V – ARI e CP II – F 32, sob diferentes temperaturas de mistura e métodos de cura.** 2003. 95 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais e Processos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2003.

GAMEIRO, F.; BRITO, J.; SILVA, D. “Durability performance of structural concrete containing fine aggregates from waste generated by marble quarrying”. **Eng Struct**, v. 59, n. 2, p. 654–62, 2014.

GOBBO, L. A. et al.; **A cadeia produtiva de rochas ornamentais e para revestimento no Estado de São Paulo: diretrizes e ações para inovação e competitividade.** São Paulo: Instituto e Pesquisas Tecnológicas, 2004, p.129-152.

GOMES, P. C. C.; LAMEIRAS, R. M.; ROCHA, S. R. A. G. **Obtenção de materiais à base de cimento com resíduo do estado de Alagoas: Um Caminho para o Desenvolvimento Sustentável da Construção.** Relatório Final. FAPEAL 2003-2004. Maceió, Alagoas, 2004.

GONÇALVES, J. P. **Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para produção de concretos.** 2000. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2000.

HALLACK, A. Pavimento Intertravado: uma solução universal. **Revista Prisma**, nº 39, Dezembro. 2011.

MARCHIONI, M. L. **Desenvolvimento de técnicas para caracterização de concreto seco utilizado na fabricação de peças de concreto para pavimentação intertravada.** 2012. 111 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2012.

MAURY, M. B; BLUMENSCHNEIN, R. N. Produção de cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente. **Sustentabilidade em Debate**, Brasília, v. 3, n. 1, p.75-96, jan/jun, 2012.

MENEGUELLI, G. **Cimento, um dos maiores emissores de co2, causador do aquecimento global.** Notícia publicada em 21 de dezembro de 2018. Disponível em: <https://www.greenme.com.br/morar/bioarquitetura/7428-cimento-co2-aquecimento-global>. Acesso em: 24 nov. 2019.

MOTA, J. D. et al. **Aproveitamento dos resíduos de granito e caulim como materiais aditivos na produção de tijolos ecológicos.** Campina Grande. Disponível em: <http://docplayer.com.br/16991029-Aproveitamento-dos-residuos-de-granito-e-caulim-como-materiais-aditivos-na-producao-de-tijolos-ecologicos.html>. Acesso em: 24 nov. 2019.

MOTA, M. H. A. **Concreto seco com incorporação de cinzas de madeira de algaroba (prosopis juliflora) moldado sobre pressão.** 2014, 122p. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECAM), UFPE, Caruaru.

NASCIMENTO, Maria Victória Leal de Almeida. **Estudos de blocos intertravados de concreto para pavimentação com incorporação de resíduo do polimento do porcelanato.** 2016 97 p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Pernambuco. Caruaru/PE. 2016.

NOBREGA, A. K. C. et al. **Caracterização do resíduo de pó de pedra ornamental adicionado à argamassa em substituição parcial ao cimento**, p. 13172-13179. In: Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química - COBEQ 2014 [Blucher Chemical Engineering Proceedings, v.1, n.2]. São Paulo: Blucher, 2015.

OLIVEIRA, L. de S. **Reaproveitamento de resíduos de marmoraria em compósitos cimentícios.** 2015. 88 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de São João Del-Rei, São João Del-Rei, 2015.

OLIVEIRA, A. L. de. **Contribuição para a Dosagem e Produção de Peças de Concreto para a Pavimentação.** 2004. 271 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2004.

PIRES, G. W. M. O; FILHO, J. A. P. **Blocos intertravados manufaturados com concreto dosado utilizando-se resíduos de pet (politereftalato de etileno): aspectos econômicos e ambientais.** Anais Engema: Encontro Internacional Sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente. 2015

RODGERS, L. **Aquecimento global: a gigantesca fonte de CO2 que está por toda parte, mas você talvez não saiba.** Notícia publicada em 17 de dezembro de 2018. Disponível em: https://www.bbc.com/portuguese/geral46591753?ocid=socialflow_facebook&fbclid=IwAR2IJnB6LgBs90rApflWYUujEMMQxPFxb7fSs0rLOAf4IsXVUYW9cfjDO4. Acesso em: 24 nov. 2019.

ROSATO, C. S. O. de. **Marmorarias de Salvador: um estudo quantitativo e estratégico sobre reaproveitamento e reciclagem de resíduos de rochas ornamentais.** 2013. 136 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.

SALGADO, L. M. **Blocos de concreto para pavimentação produzidos com rejeito de mineração e cinzas de bagaço de cana de açúcar.** 2018. 88 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Biomateriais) - Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2018

SANTI, A. M. M.; SEVÁ FILHO, A. O. **Combustíveis e riscos ambientais na fabricação de cimento: casos na Região do Calcário ao Norte de Belo Horizonte e possíveis generalizações.** In: Encontro da ANPPAS - Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade, 2., 2004, Piracicaba. Anais... Encontro da ANPPAS, 2004. p.1-18. Disponível em: http://www.ifch.unicamp.br/profseva/anppas04_SantiSeva_cimento_RMBH.pdf.

SANTOS, J. dos; GALEMBECK, F. **Caracterização de resíduos de rochas ornamentais: aplicação de conceitos mecanoquímicos.** Anais do Congresso brasileiro de Engenharia e

Ciência dos materiais. Natal, 06 a 10 de novembro de 2016,22., 2016. Disponível em: <http://www.metallum.com.br/22cbecimat/anais/>. Acesso em: 10 out. 2019.

SILVA, A. P. da. et al. Fabricação de pavimentos intertravados (pavers) utilizando resíduos de borracha de pneus inservíveis e resíduos da construção civil (rcc) como agregado miúdo In: **XX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica; XVI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação; VI Encontro de Iniciação à Docência** – Universidade, 2016, Anais... Educação e Ciência para a cidadania global. Disponível em: http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2016/anais/arquivos/RE_0787_0438_03.pdf. Acesso em: 25 out. 2019.

SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 23., 2009, Fortaleza. Anais... Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2009.

SOARES, R. B. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos produzidos com a incorporação de resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais.** 2014. 163 p. Dissertação (Mestrando em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

PURIFICAÇÃO, E. B. **Estudo do uso de agregados reciclados de concreto e substituição do cimento por resíduo de polimento de porcelanato na produção de piso intertravado de concreto.** 2009. 103p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas, Belo Horizonte, 2009.

SEGUNDA PARTE - ARTIGO

ARTIGO 1 - POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO EM PÓ DO PROCESSO DE BRITAGEM PARA A PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO DESTINADOS À PAVIMENTAÇÃO INTERTRAVADA

RESUMO

Os resíduos de pó de rocha gerados pela britagem em marmorarias impactam negativamente o meio ambiente por serem, muitas vezes, armazenados de forma incorreta além de ocuparem espaços nos pátios das empresas. O uso desse subproduto na confecção de blocos de concretos como forma de substituir em porcentagens o cimento Portland utilizado, reduz o uso de recursos naturais como matéria prima, além de criar novas alternativas de destinação, agregando valor ao resíduo. O objetivo dessa pesquisa foi avaliar a viabilidade de substituição do cimento CPV-ARI em porcentagens de 0%, 15% e 30% pelo resíduo de pó do processo de britagem. O resíduo foi avaliado quanto às suas características químicas. Os agregados foram caracterizados quanto à granulometria. Os blocos de concreto para pavimentação intertravada foram avaliados quanto as suas propriedades físicas e mecânicas por meio de ensaios de densidade, absorção de água (NBR 9781, 2013), resistência à compressão (NBR 9781) e microscopia digital. A formulação dos blocos controle utilizada foi de 15% de cimento, 23% de pedrisco, 31% de areia, 31% de pó de pedra, com relação água/cimento (A/C) de 0,77%. Os tratamentos de 15% e 30% de resíduo utilizaram relação água/cimento de 0,3%. O resíduo de pó de britagem pode ser utilizado para produção de blocos de concretos para pavimentação com tráfego de pedestres, sendo economicamente viável a substituição de 30% do cimento na formulação.

Palavras-chaves: Resíduo sólido. Construção civil. Compósitos. Material alternativo.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, grande parte dos processos ligados à atividade econômica são fontes geradoras de resíduos, sejam na forma de líquidos, gases ou sólidos, que causam grande degradação ambiental e muitas vezes não contribuem para um desenvolvimento sustentável. Dentre esses processos, destaca-se o setor da construção civil, considerado o principal consumidor de recursos naturais e materiais não renováveis além de ser gerador de grande quantidade de resíduos. Entretanto, é um setor promissor para o reaproveitamento de

resíduos, gerados tanto no próprio setor quanto de outras atividades, para incorporação em produtos da construção civil. (MOURA, GONÇALVES e LEITE, 2002; SOUZA et al., 2016; PETRY et al. 2017).

A indústria da construção civil contribui de forma significativa para o crescimento econômico do país tendo em vista a quantidade de renda e empregos gerados, o comércio de equipamentos, insumos, e serviços no processo produtivo. Entretanto, são muitos os desafios encontrados para relacionar os processos de produção com a minimização dos impactos ambientais causados pelo alto consumo de recursos naturais, a geração dos resíduos de construção civil e até mesmo o grande volume de desperdícios (KARPINSK, et. al. 2009; BARRETO et al. 2019).

A produção mundial de rochas ornamentais atingiu cerca de 152 milhões de toneladas em 2017, segundo Montani (2018). Em relação à produção brasileira de rochas ornamentais, no ano de 2017, atingiu cerca de 9,2 milhões de toneladas (ABIROCHAS, 2018).

A construção civil é a principal destinação de rochas ornamentais, no qual empregou cerca de 75% do total da produção líquida de rochas. Dentro do setor de rochas ornamentais, as marmorarias, onde acontece o processo de beneficiamento das rochas ornamentais, perfazem mais de 60% das empresas do setor. (BEZERRA, 2018; ABIROCHAS, 2018).

No processo de beneficiamento de rocha ornamental os resíduos gerados são as lamas produzidas pelo processo de desdobramento e polimento, os casqueiros e cascos do processo de corte de placas, materiais particulados assim como outros resíduos como lâminas e granalhas desgastadas (BRAGA et al., 2010). Segundo o Centro de Tecnologia Mineral (2014), nos processos de beneficiamento, cerca de 40% do volume do bloco processado se torna resíduo, nas quais estão divididos entre resíduo muito fino misturado com insumos da serragem e resíduo grosso na forma de casqueiro. Essa porcentagem equivale a soma de 1,5 milhões de toneladas de resíduos finos somados a 1 milhão de tonelada de resíduos grossos, sendo estes gerados anualmente no país.

Uma forma de reduzir os custos e prejuízos ambientais relacionados ao tratamento e disposição final de resíduos da indústria de rochas ornamentais é a reutilização desses resíduos, influenciando também na redução da extração de recurso natural bem como nos impactos causados no processo de extração. Neste contexto, a indústria da construção civil vem sendo amplamente estudada para a utilização de materiais alternativos na incorporação em matrizes cimentícias e cerâmicas, permitindo um destino ambientalmente correto para os resíduos (LUCAS, BENATTI, 2008; LIMA, LIRA, NEVES, 2016).

Um dos produtos da construção civil utilizado como alternativa para incorporar ou adicionar resíduos na sua formulação é o bloco de concreto para pavimentação intertravada. Devido a facilidade e baixo custo de produção, o bloco de concreto para pavimentação intertravada é objeto de diversos estudos como Nascimento (2016) que utilizou cinzas residuais do bagaço da cana-de-açúcar substituindo o cimento Portland, Carvalho et al (2018) que utilizaram resíduos de corpos de prova de concreto descartados após realização de testes de compressão e Júnior, Barros e Neves (2018) que utilizaram resíduos de quartzito substituindo um ou mais agregados para confecção de blocos de concreto.

Os resíduos de retalhos de rochas gerados dentro das marmorarias no processo de corte das placas, muitas vezes ficam depositados de forma incorreta gerando impactos negativos ao meio ambiente, ocupando espaço nos pátios das empresas, ou então geram custos para que sejam destinados para a disposição final. Entretanto, o estudo realizado neste trabalho visa à reutilização das partes finas desse resíduo como forma de agregar valor ao resíduo, criando uma alternativa rentável para esse resíduo.

Nesse sentido, aliando o alto consumo de recursos naturais no setor da construção civil, a grande quantidade de resíduos gerados na cadeia produtiva de rochas ornamentais e as problemáticas de disposição final correta dos resíduos, o presente estudo teve como objetivo avaliar a utilização do resíduo em pó gerado pelo processo de britagem dos retalhos e cascos de rochas ornamentais de marmorarias como forma de substituição de parte do cimento Portland para produção de blocos de concreto de pavimentação intertravada.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Obtenção e caracterização dos materiais

O resíduo de retalhos de rochas gerado a partir do processo de corte de placas foi doado por uma marmoraria situada na cidade de Lavras -MG. O resíduo passou pelo processo de britagem na marmoraria obtendo o particulado grosso e depois foi levado para a Universidade Federal de Lavras no qual passou pelo peneiramento, a fim de obter o resíduo em pó. O peneiramento foi realizado de forma automática com a utilização de uma peneira de malha 100 Mesh, obtendo uma mistura de resíduo fino e ultrafino com granulometria menor que 0,149mm.

A determinação da composição mineralógica do resíduo de pó da britagem foi realizada a partir de análises químicas sendo determinados os teores de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3

através do ataque sulfúrico e os teores de Mg, Ca, K, utilizando um espectrofotômetro de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICP – OES).

Com a utilização de uma balança de precisão, foi pesada a massa de resíduo de pó da britagem contida em um Becker de volume conhecido (25 cm³) para determinar a densidade do material a partir da média das massas obtidas com a razão massa média/volume. Para a avaliação da densidade a metodologia foi repetida seis vezes.

As análises granulométricas dos materiais como agregado miúdo (areia), do pó de pedra e da brita foi realizada seguindo a norma NBR NM 248 (2003).

Para avaliar o índice de desempenho pozolânico do resíduo de pó da britagem com o cimento Portland, foi realizado o ensaio de pozolanidade em 28 dias utilizando a norma NBR 5752 (ABNT, 2014). A argamassa utilizada para o controle (A) foi composta apenas de cimento CII F32, areia normalizada e água. Já a argamassa B, foi composta por cimento CII F32, areia normalizada, água e o resíduo em substituição de 25% da massa do cimento.

Para a formulação da argamassa para o teste de pozolanidade, foram necessárias as quantidades descritas na Tabela 1 de cada material. Para cada mistura de argamassa foram produzidos 6 corpos de prova, totalizando 12 corpos de prova, no qual todos foram produzidos com o mesmo procedimento: quatro amassamentos divididos em quatro camadas diferentes, com o total de 30 golpes em cada camada. Os corpos de prova ficaram por 24 horas em cura dentro de uma câmara úmida em temperatura ambiente, depois foram colocados em uma solução de água e cal virgem no qual ficaram imersos por 28 dias. Ao final do tempo de cura, foi realizada a ruptura em uma máquina de ensaio hidráulica manual (Figura 2).

Tabela 1: Quantidade de material em massa para a produção dos corpos de prova para ensaio de pozolanidade.

Material	Massa para mistura (gramas)	
	Argamassa A	Argamassa B
Cimento Portland CII F32	624	468
Resíduo de pó da britagem	-	156
Água	300	300
Areia normal - fração grossa	468	468
Areia normal - fração média grossa	468	468
Areia normal - fração média fina	468	468
Areia normal - fração média fina	468	468

Fonte: Do autor (2019).

Figura 2: Máquina de ensaio hidráulica manual utilizada para teste de compressão utilizado no ensaio de pozolanicidade.



Fonte: Do autor (2019).

O corpo prova sofreu compressão da máquina de forma manual com velocidade constante até que o mesmo se rompesse, obtendo assim o dado em tonelada/força.

2.2. Produção e avaliação dos pavimentos intertravados

O resíduo de pó de britagem foi utilizado para substituição do cimento Portland CPV – ARI nas porcentagens de 0%, 15% e 30% em massa do cimento, sendo avaliado o efeito causado devido a essa substituição. A moldagem utilizada para os corpos de prova tinham dimensões aproximadas de 20x10x7cm, sendo respectivamente, comprimento, largura e espessura. Para cada tratamento foram produzidos 12 corpos de prova sendo a massa total da mistura para cada tratamento de 30kg. A Tabela 2 apresenta o traço em porcentagem total, usado para a confecção dos blocos de concreto, sendo a relação água/cimento de 0,3 para os tratamentos com resíduo e 0,77 para o controle.

Tabela 2: traço usado para a produção dos pavimentos intertravados

TRAÇO (%)						
Tratamento	Areia	Brita	Pó de pedra	Cimento Portland	Resíduo de pó da britagem	Água/Cimento
Sem resíduo	31,00	23,00	31,00	15,00	0,00	0,77
15% resíduo	31,00	23,00	31,00	12,75	2,25	0.3
30% resíduo	31,00	23,00	31,00	10,50	4,50	0.3

Fonte: Do autor (2019).

Na mistura dos materiais já devidamente pesados, foram adicionados em um recipiente primeiramente os materiais secos, seguindo a ordem, areia, brita, pó de pedra, cimento e o resíduo de pó de britagem, e por último foi adicionando aos poucos a água, até que a mistura chegasse à textura de concreto. Foi incorporado na mistura do tratamento controle 5000ml de água, no tratamento com 15% de resíduo aproximadamente 3500ml de água e para o tratamento de 30%, 4000ml de água. Após o concreto ser preparado, foi transferido para a máquina de vibro compressão (Figura A), no qual foi distribuída uniformemente pelas formas retangulares, permanecendo por cerca de 2 minutos sofrendo compressão e vibração, e posteriormente, os blocos formados foram desenformados (Figura B).

Figura 3: Processo de prensagem e desenformagem dos blocos.



Fonte: Do autor (2019).

Após serem desenformados, os blocos ficaram em temperatura ambiente por 24 horas para secarem e então serem curados por 28 dias, sendo os primeiros 14 dias imersos em água e os últimos 14 dias em temperatura ambiente (Figura C) sendo hidratado duas vezes ao dia. Ao final da cura, os blocos foram então submetidos aos ensaios de densidade, resistência à compressão e absorção de água, de acordo com a norma NBR 9781 (2013).

Figura 4: Blocos de concreto durante o processo de cura em temperatura ambiente.



Fonte: Do autor (2019).

Foram obtidas as massas secas, saturadas e imersas dos blocos para serem feitos os cálculos da densidade aparente, absorção de água e porosidade. Para caracterizar a microestrutura dos blocos de concreto produzidos com o resíduo em pó da britagem, foram realizados ensaios de microscopia digital. Os ensaios foram feitos a partir de amostras retiradas do corpo de prova após a ruptura de compressão com dimensões de 5x5cm aproximadamente, sem haver a necessidade de preparo. O equipamento utilizado foi o microscópio da marca CoolingTech, modelo U500X. As propriedades físicas e mecânicas dos blocos foram avaliadas em um delineamento inteiramente casualizado. Foram realizados análise de variância e teste de média Scott-Knott, ambos a 5% de significância.

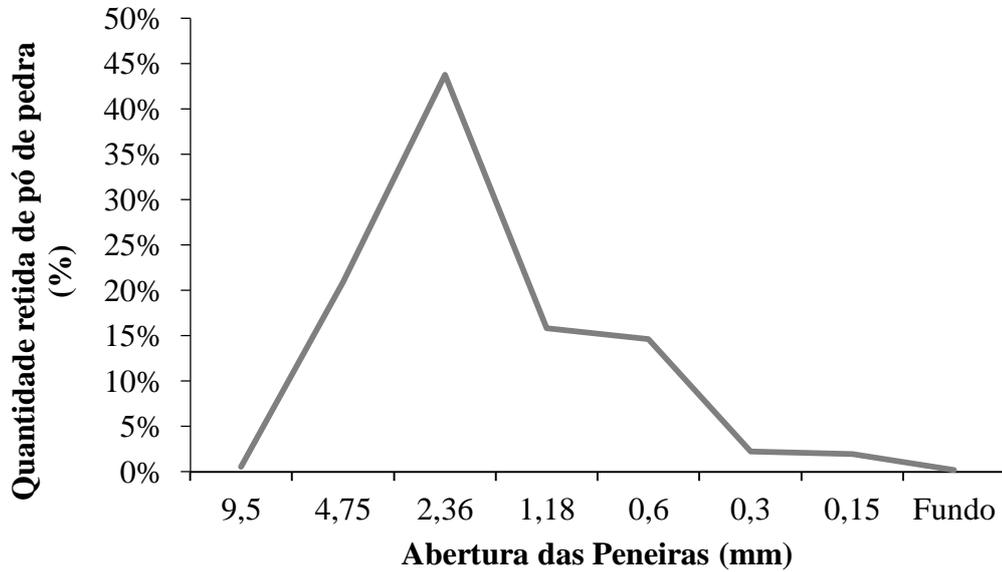
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização da matéria prima utilizada na produção dos blocos de concreto

As distribuições dos variados tamanhos de grãos estão representadas juntamente com a porcentagem retida e porcentagem retida acumulada nas peneiras pelas curvas

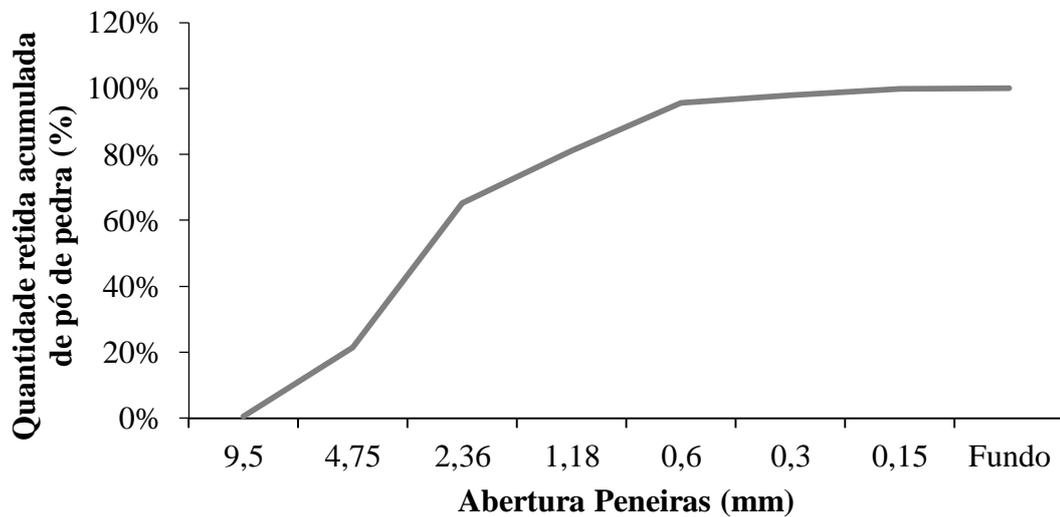
granulométricas obtidas pelo ensaio de granulometria. As Figuras 5 e 6 referem-se ao agregado de pó de pedra e as Figuras 7 e 8 referem-se à brita.

Figura 5: Porcentagem de pó de pedra retida.



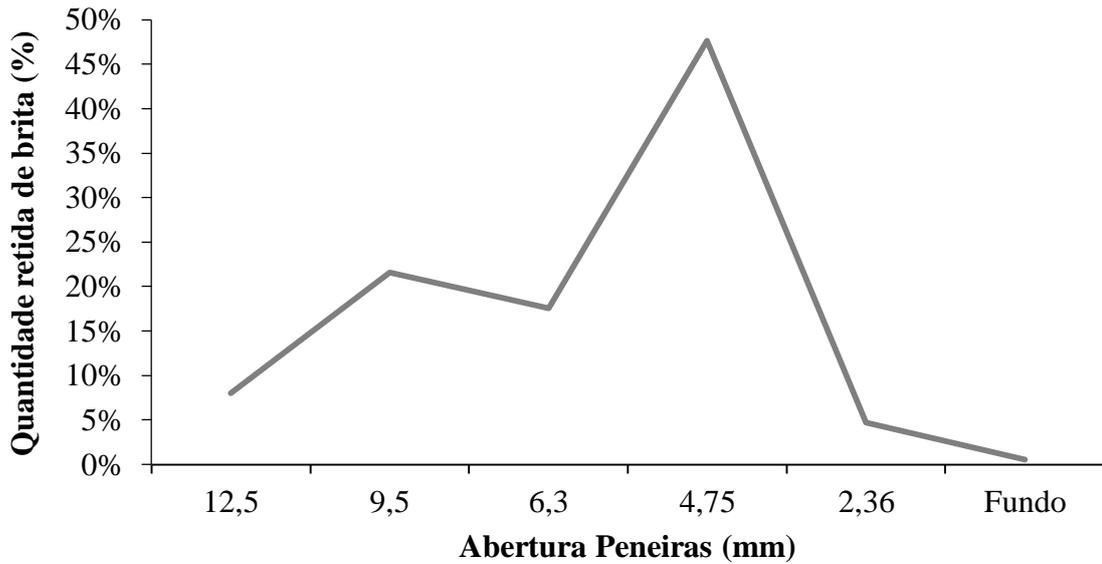
Fonte: Do autor (2019).

Figura 6: Porcentagem de pó de pedra retida acumulada.



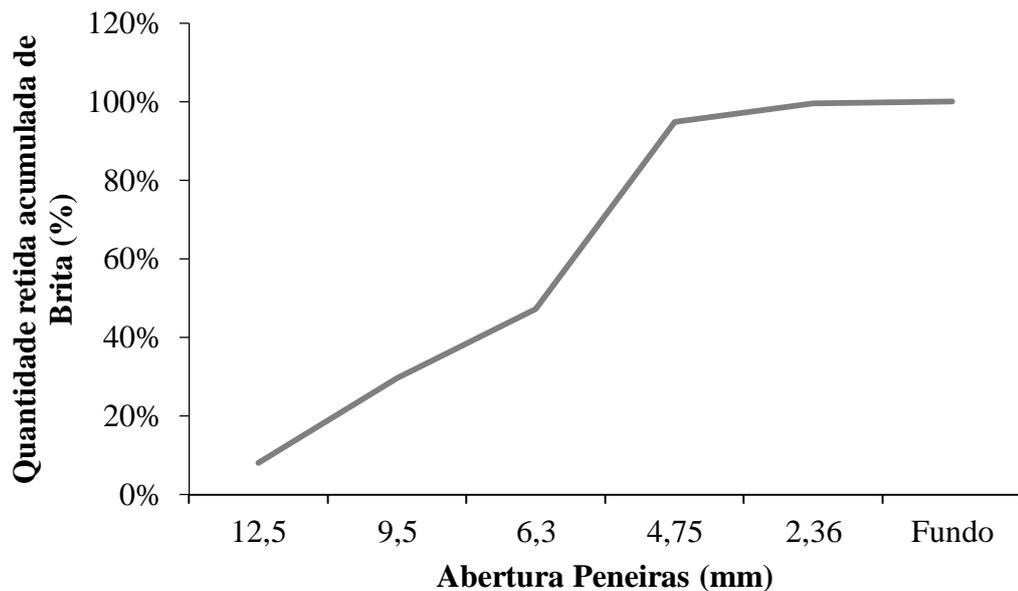
Fonte: Do autor (2019).

Figura 7: Porcentagem de brita retida.



Fonte: Do autor (2019).

Figura 8: Porcentagem de brita retida acumulada.

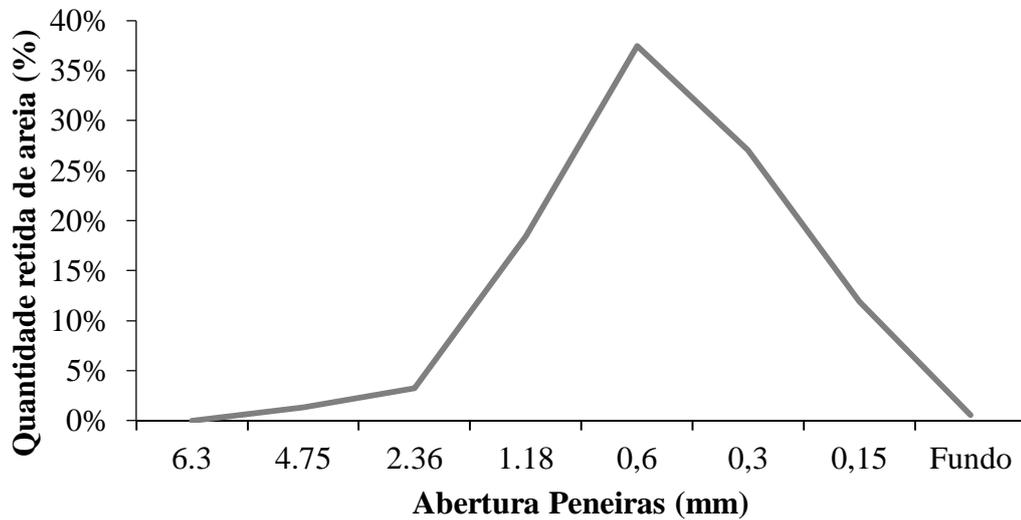


Fonte: Do autor (2019).

O material pó de pedra apresentou a maior porcentagem de grãos com granulometria entre 4,5mm e 0,3mm, sendo 100% do agregado passante para a abertura de 9,5mm da peneira. A brita, caracterizada como agregado grosso teve maior parte dos grãos retidos na peneira com abertura de 12,5mm e 4,75mm.

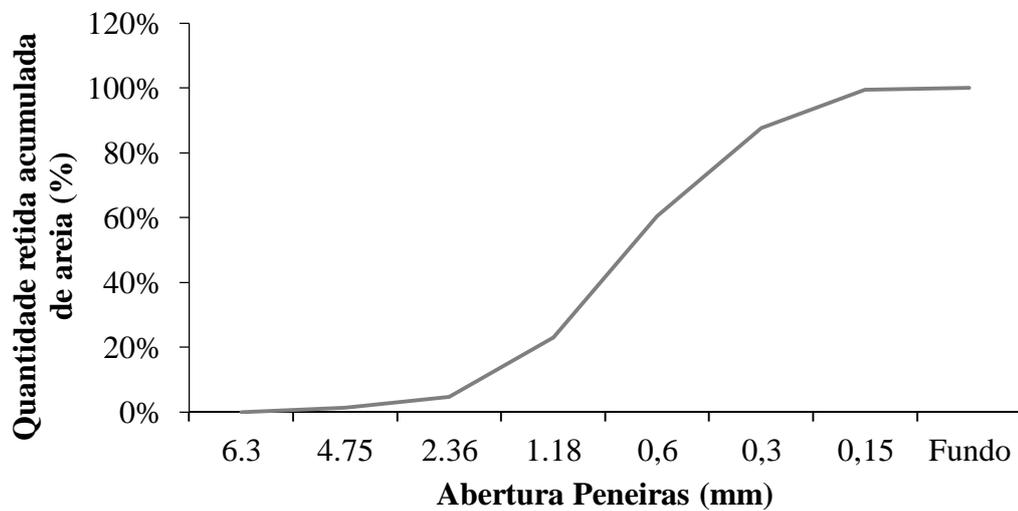
As Figuras 9, 10 e 11 referem-se aos resultados obtidos da areia relacionados à percentagem de areia retida, percentagem de areia retida acumulada e a Porcentagem de areia retida e limites superior e inferior das zonas ótimas.

Figura 9: Porcentagem de areia retida.



Fonte: Do autor (2019).

Figura 10: Porcentagem de areia retida acumulada.



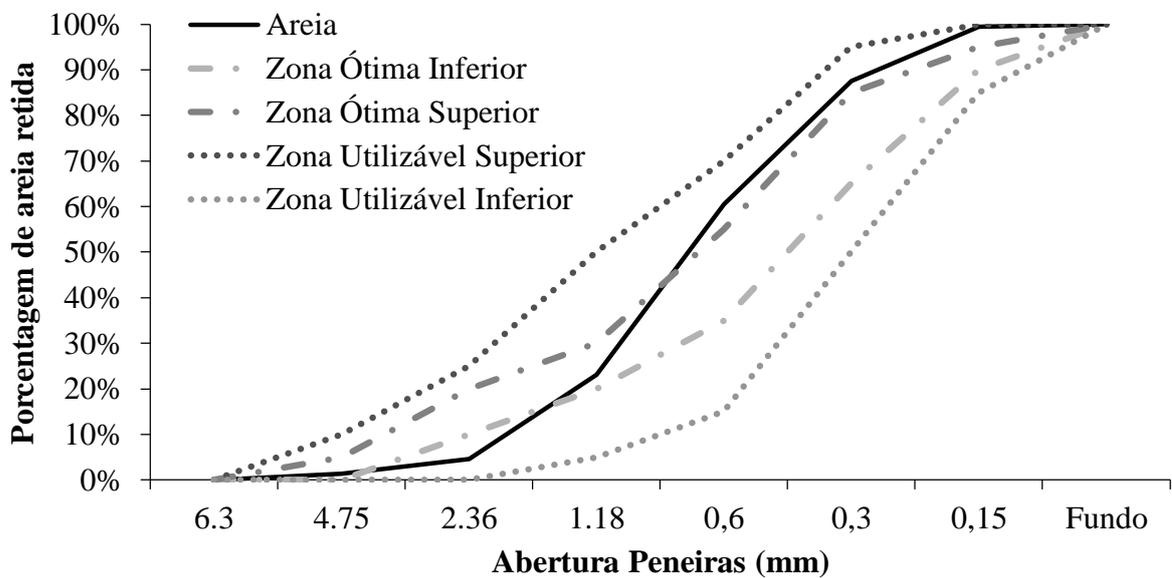
Fonte: Do autor (2019).

Observa-se que a maior percentagem de grãos presentes no material da areia foi retida na peneira de abertura abaixo de 1,18mm, sendo predominante a areia média e fina.

O resíduo de pó de rocha obtido do processo de peneiramento automático com a utilização de uma peneira com abertura de 100Mesh, caracteriza os grãos presentes no resíduo com dimensões menores ou iguais à 0,149mm, classificando-o como agregado miúdo e fino.

De forma geral, observa-se que a dimensão da granulometria do resíduo de pó da britagem utilizado é menor comparada a granulometria da areia. Segundo Silva (2000) e, a granulometria dos materiais utilizados influencia diretamente na plasticidade da massa, na porosidade final e na densidade do compósito. Gomes et al. (2017) confirma que a utilização de resíduos que tenham a granulometria mais grosseira que a areia, pode afetar na trabalhabilidade do concreto, deixando-a baixa. Já quando muito fina, aumenta o consumo de água e conseqüentemente o consumo de cimento, para manter a relação água/cimento.

Figura 11: Porcentagem de areia retida e limites superior e inferior das zonas ótimas.

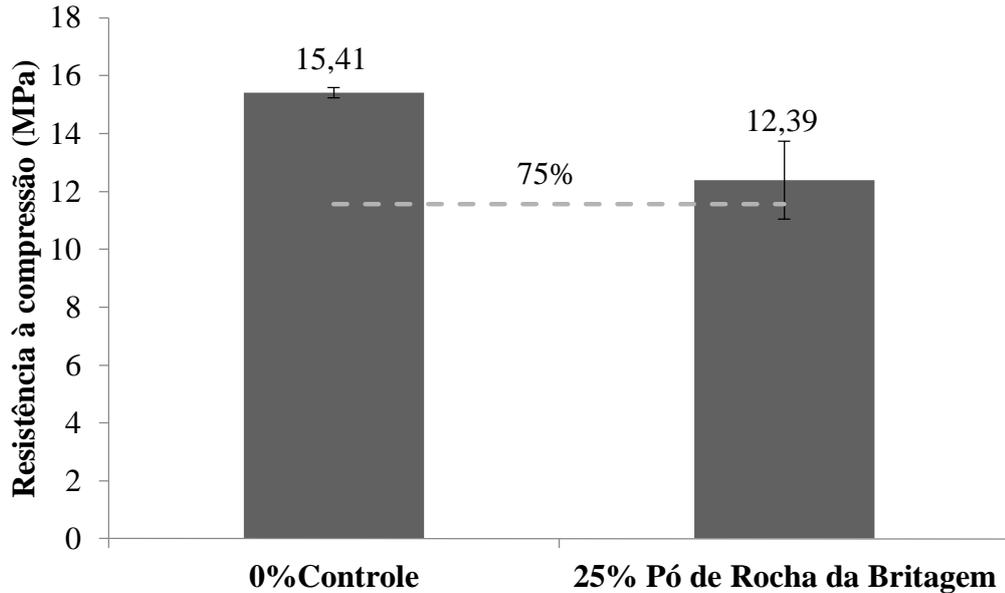


Fonte: Do autor (2019).

Observa-se que a curva granulométrica da areia está dentro dos limites da zona ótima superior e inferior definida pela norma NBR 7211 (2009), apresentando módulo de finura de 2,55 e dimensão máxima característica de 2,36mm, não comprometendo a trabalhabilidade da massa de concreto por ter a granulometria adequada para a produção dos blocos de concreto para pavimentação intertravada. Comparado ao resultado de Gomes et al. (2017), foi encontrado o módulo de finura de 3,14 da areia natural, estando também dentro da norma.

Os dados do índice de atividade pozolânica encontrados no teste de resistência à compressão para o controle (Argamassa A) e para a argamassa com pó de rocha da britagem (Argamassa B) estão representados na Figura 12.

Figura 12: Resistência à compressão obtida no ensaio de pozolanicidade.



Fonte: Do autor (2019).

A resistência à compressão teve valor encontrado para a argamassa de referência (A) de 15,41MPa e para argamassa contendo a adição do resíduo (B) de 12,39MPa. De acordo com a NBR 12653 (ABNT, 2015), para que um material seja caracterizado como pozolânico, o valor mínimo de resistência deverá ser 75% da resistência à compressão da argamassa de referência. Sendo assim, comprova-se que o resíduo de pó de rocha da britagem é viável para uso na substituição de parte do cimento Portland por ter alcançado o valor mínimo.

A análise química do resíduo de pó de pedra apresentou valores diferentes do esperado. De acordo com a Tabela 3, o maior teor encontrado no resíduo foi de Al_2O_3 , seguido de SiO_2 . A presença de Al_2O_3 no resíduo é favorável quanto às chances do mesmo apresentar boa interação com a matriz cimentícia visto que no cimento existe a presença de ferro aluminato tetracálcio (C4AF) em sua composição. O alto valor encontrado na relação $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ indica que a proporção de Al_2O_3 em relação ao Fe_2O_3 é maior, da mesma forma indicado em suas porcentagens. Em relação à sílica (SiO_2), foi encontrado na composição do resíduo com valor de 5,79%.

Tabela 3: Análise química do resíduo de pó de rocha da britagem.

Propriedades	Valores
SiO ₂ (%)	5,79
Al ₂ O ₃ (%)	14,08
Fe ₂ O ₃ (%)	4,21
Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃	5,26
Mg (%)	0,72
Ca (%)	2,35
K (%)	0,32

Fonte: Do autor (2019).

Os valores encontrados em Lopes e Bacarji (2014) na análise química do pó de brita se assemelham quanto ao teor de Fe₂O₃ (3,31%), porém se difere em grande escala no teor de SiO₂ (64,36%), sendo o Al₂O₃ um valor comparável (22,47%).

Na análise química realizada por Petry et al. (2017), o resíduo de marmoraria apresentou características divergentes também para o valor de SiO₂ (58,48%). Em relação ao Al₂O₃ e Fe₂O₃ foram encontrados valores menores ao do estudo presente, sendo respectivamente 9,83% e 1,67%. Essas diferenças podem estar atreladas às diferentes proporções do tipo de rocha que compõe o resíduo em pó, visto que o resíduo é formado pela mistura das rochas trabalhadas na marmoraria como quartzitos, granitos, mármore e outros.

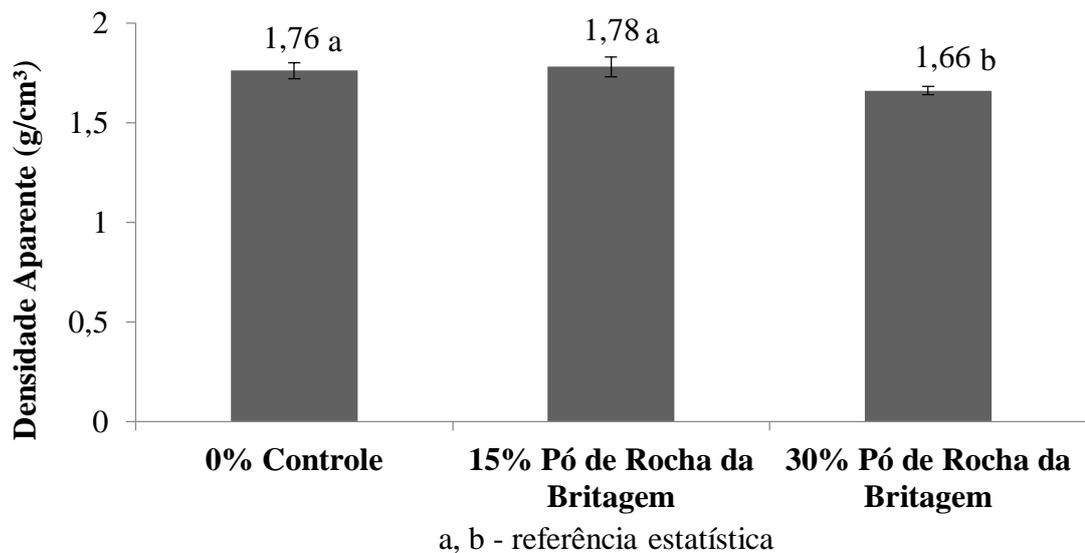
Segundo Cardoso (2018), a presença da sílica é muito importante em pesquisas com compósitos cimentícios, visto que, no processo de hidratação do cimento, ocorre a liberação de hidróxido de cálcio (CaOH) que em contato com a sílica, produzem os silicatos de monocálcios hidratados no qual favorece na resistência e firmeza da massa com o tempo, o que proporciona melhoria na qualidade da cristalização do cimento, diminuindo os tamanhos dos poros e aumentando sua durabilidade e resistência à compressão (CARDOSO et al., 2018; SANTOS et al., 2007; JUNG et al., 2018; TIAN; ZHANG, 2016).

3.2. Caracterização física e mecânica dos blocos de concreto

As densidades aparentes dos blocos de concreto intertravados foram obtidas após os vinte e oito dias de cura. De acordo com a análise estatística, o tratamento com 30% de resíduo em sua formulação apresentou alteração comparada ao tratamento controle, como mostrado na Figura 13. No entanto, a substituição de 15% do cimento pelo resíduo estatisticamente não causou alteração na densidade do bloco. Essa variação pode estar relacionada ao valor encontrado da densidade do resíduo utilizado (1,30 g/cm³) que,

comparada à do cimento ($1,60 \text{ g/cm}^3$), apresentou valor um pouco menor. Com isso, pode-se perceber que com o aumento da substituição do cimento pelo resíduo, a tendência é que a densidade do material diminua. Contudo, a substituição do cimento em grandes porcentagens do material residual faz com que o bloco sofra alterações da densidade, visto que, o cimento é o aglomerante responsável por unir os demais insumos.

Figura 13: Efeito da utilização do resíduo de pó de britagem em diferentes porcentagens sobre a densidade dos blocos de concreto.

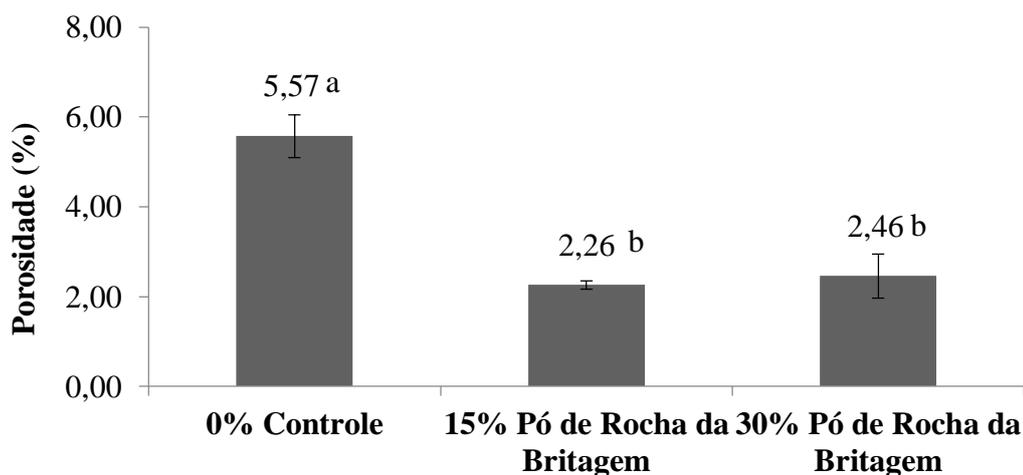


Fonte: Do autor (2019).

A densidade do bloco é um fator que influencia na quantidade de vazios presentes no bloco e conseqüentemente na resistência. Essa relação se dá em que quanto maior a densidade do bloco, menor a quantidade de vazios proporcionando maior resistência mecânica.

A Figura 14 apresenta a influência do resíduo sobre a porosidade do bloco no qual, a presença do resíduo fez com que houvesse a diminuição dos poros na estrutura do bloco comparado ao tratamento controle.

Figura 14: Efeito da utilização do resíduo de pó de rocha da britagem em diferentes porcentagens sobre a porosidade dos blocos de concreto.



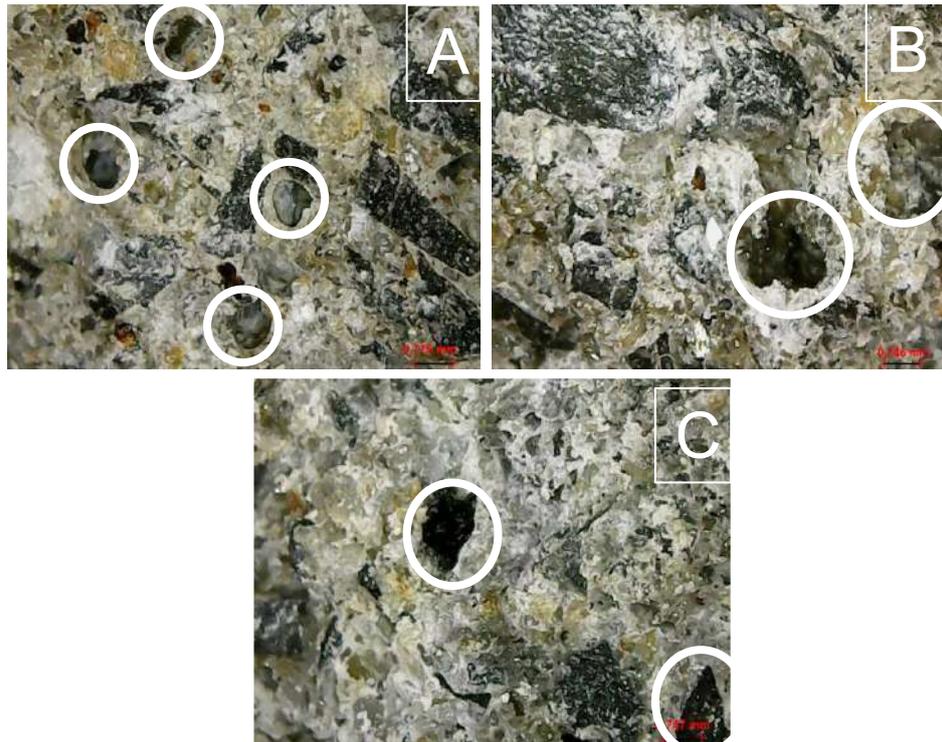
a, b - referência estatística

Fonte: Do autor (2019).

Com base na análise estatística realizada sobre os dados de porosidade, é possível observar que entre as duas porcentagens de substituição do cimento, não houve diferença quanto ao valor encontrado.

A diferença encontrada na quantidade de poros dos blocos de concreto comparado ao tratamento controle pode ser observada através das imagens de Microscopia representadas pela Figura 15. A imagem A se refere ao tratamento controle, a B do tratamento com substituição de 15% do resíduo em massa do cimento e a C em 30%. A diminuição dos espaços vazios pode estar relacionada à quantidade de água utilizada para a produção das massas dos blocos, visto que para a utilização para a produção do tratamento controle, a quantidade de água utilizada foi maior do que a dos tratamentos contendo o resíduo. Dessa forma, o resíduo consome menos água que o cimento, diminuindo também a quantidade de poros que fica com a evaporação da água após o processo de hidratação dos blocos. Observa-se que os poros encontrados nas frações dos blocos com adição do resíduo apresentam dimensões relativamente maiores que a do tratamento controle.

Figura 15: Imagens obtidas da microscopia óptica a partir de uma fração de bloco de cada tratamento.

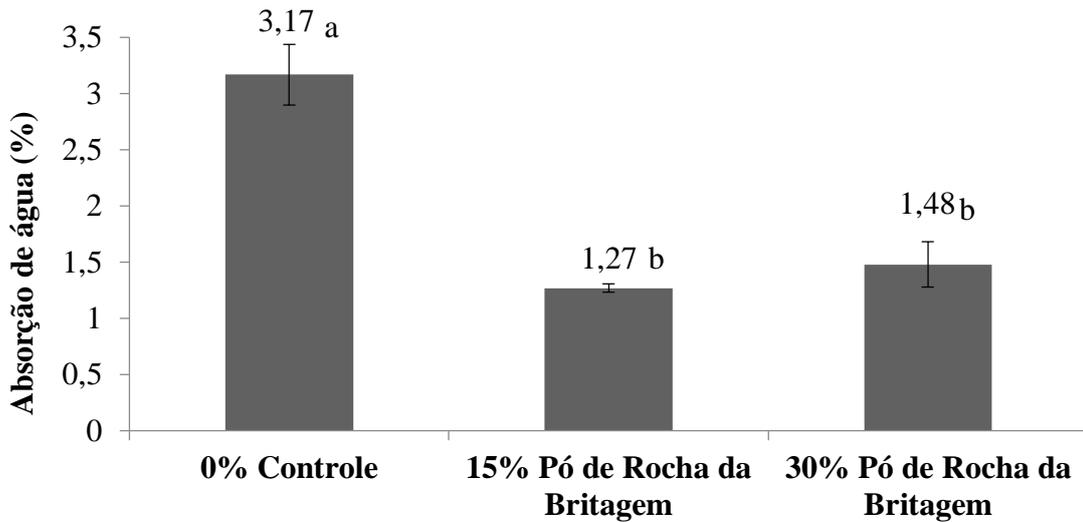


Fonte: Do autor (2019).

Observa-se que a incorporação do resíduo de pó de rocha obtido no processo de britagem influenciou significativamente na absorção de água do bloco de concreto após os vinte e oito dias de cura (Figura 17). Comparado ao tratamento controle, os blocos contendo o resíduo na sua composição apresentaram redução nas porcentagens de absorções de água. Esse fato pode ser explicado devido à menor porosidade encontrada para os compósitos contendo resíduos, o que proporciona maior durabilidade do produto final.

Em relação aos teores de resíduos incorporados, através dos dados estatísticos, os blocos contendo 15% e 30% de resíduo não apresentaram diferenças no valor encontrado da porcentagem de absorção de água.

Figura 17: Efeito do resíduo de pó de rocha da britagem em diferentes porcentagens sobre a absorção de água dos blocos de concreto.



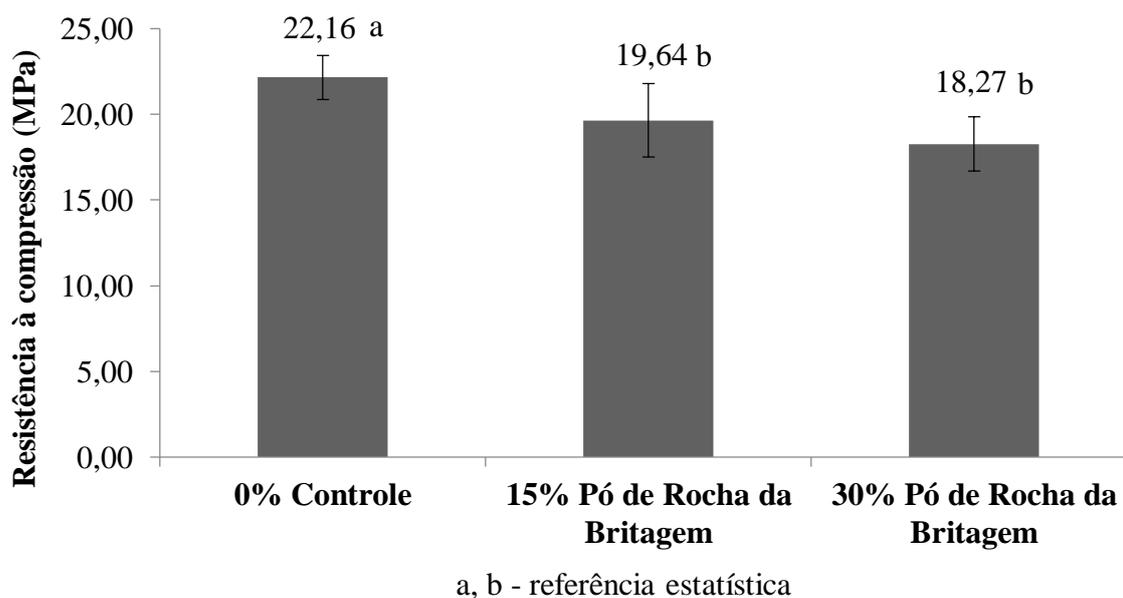
a, b - referência estatística

Fonte: Do autor (2019).

Segundo a norma NBR 9781 (ABNT, 2013), a absorção de água para os blocos de concreto devem apresentar valor médio menor ou igual a 6%, não sendo admitido nenhum valor individual maior do que 7%. Sendo assim, todos os tratamentos estudados atendem às condições indicadas.

A Figura 18 indica os valores médios para o teste de compressão dos blocos nas variações dos teores de resíduo de 0%, 15% e 30%, realizado após os 28 dias de cura dos blocos. Observa-se que houve influência nos resultados encontrados de resistência à compressão nos blocos com presença do resíduo estudado. Sendo assim, estatisticamente houve redução dos valores de resistência à compressão dos blocos comparada ao controle e valores estatisticamente iguais para os tratamentos de 15% e 30% de substituição do resíduo.

Figura 18: Efeito do resíduo de pó de rocha da britagem em diferentes porcentagens sobre a resistência à compressão dos blocos de concreto.



Fonte: Do autor (2019).

Segundo a norma NBR 9781 (2013), para que o bloco de concreto seja utilizado em veículos comerciais, a resistência característica à compressão deve ser maior ou igual a 35 Mpa.

No estudo realizado por Petry et al. (2017), foi encontrado um aumento na resistência dos blocos de concreto com a substituição de 20% do cimento com resíduo de marmoraria para uma relação água/aglomerante de 0,5. Entretanto, o aumento da resistência comparado ao concreto de referência não foi o suficiente para atingir ao valor mínimo requerido pela norma para utilização em pavimentos com veículos.

Gonçalves (2000) estudou a incorporação de resíduo de corte de granitos em concretos substituindo o cimento e concluiu que o resíduo contribuía um pouco para o aumento da resistência à compressão, comparado ao concreto de referência, atingindo à norma. O autor acredita que o refinamento dos poros, distribuição das partículas e possível dispersão e aceleração da hidratação fizeram com que a resistência à compressão elevasse.

Tal divergência entre os estudos pode estar atrelada ao tamanho da partícula do resíduo, uma vez que Gonçalves (2000) utilizou diâmetro de 6,74 μm , Petry et al. (2017) utilizaram partícula com diâmetro médio de 22,50 μm e o presente estudo com diâmetro igual ou abaixo de 149 μm .

4. CONCLUSÃO

A utilização do resíduo de pó de rocha ornamental obtido do processo de britagem para a confecção de blocos de concreto intertravado, apesar de ser classificado como um material pozolânico, proporcionou a diminuição da resistência à compressão do material de acordo com o aumento do teor utilizado. Entretanto, os valores encontrados da absorção de água e porosidade do bloco foram menores com a incorporação do resíduo, o que pode proporcionar durabilidade ao produto.

Em relação aos teores de resíduo analisados, pode-se concluir que estatisticamente, apesar da densidade aparente do bloco com substituição com 30% ter sido menor que a densidade do bloco com substituição de 0% e 15%, não houve alteração da resistência final dos blocos, comparando entre os tratamentos de 15% e 30%. Dessa forma, a substituição de 30% da massa de cimento pelo resíduo é significativa quanto ao valor de produção do bloco de concreto, tornando esse produto mais viável economicamente. É válido ressaltar que, apesar de nenhum dos tratamentos terem atingidos à resistência mínima requisitada pela norma, o produto contendo resíduo pode ser utilizado em calçadas para pequenas cargas como tráfego de pedestres e pavimentos com pouca movimentação, como estacionamentos.

Ressalta-se que essa alternativa de matéria-prima contribui para minimização do passivo ambiental causado pela disposição incorreta desse resíduo no meio ambiente, reduz a utilização de materiais extraídos como recurso natural, e que se melhor caracterizado e estudado, pode ser utilizado como nova matéria prima do setor da construção civil.

REFERÊNCIAS

- AFONSO, W. M. **Caracterização de resíduo de corte de rochas na produção de argamassas**. 2005. 135 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes. 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5752**: Materiais pozolânicos – Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781**: Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio, 2013.
- BARRETO, J. M. L. et al. **Análise das propriedades físicas e mecânicas de blocos de concreto prensados sem função estrutural com incorporação de PET reciclado**. Matéria (Rio J.) v.24, n.2, Rio de Janeiro, 2019.
- BEZERRA, F. D. Rochas ornamentais. **Caderno setorial ETENE**. 3, Nº 60, dezembro 2018. n. 60. Fortaleza. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/documents/80223/4296541/60_rochas.pdf/7f8df948-d39c-3afc-cf98-fb7f1d33eed5>
- BRAGA, F.S. et al. **Caracterização ambiental de lamas de beneficiamento de rochas ornamentais**. Nota técnica. 2010 v. 13. n.3. p. 237-244.
- CARVALHO, R. A. et al. Utilização de resíduos de corpos de prova de concreto para fabricação de pavimentação intertravada. **InterScientia**, v. 6, n. 2, p. 12-29, 2018.
- FILHO, C.C.; CHIODI, D. K. Relatório Técnico 33 – Perfil de Rochas Ornamentais e de Revestimento, que se insere no esforço da Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – SGM, do Ministério de Minas e Energia – MME, em elaborar o Plano Duodecenal de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, 2009. p. 101.
- JUNG, S. H. et al. Microstructure Characteristics of Fly Ash Concrete with Rice Husk Ash and Lime Stone Powder. **International Journal of Concrete Structures and Materials**, v. 12, n. 1, 2018.
- JÚNIOR, C. M. D.; NEVES, G. A.; BARROS, S. V. A. Utilização de Resíduos de Quartzito para Aplicação em Pavimentos Intertravados. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, Campina Grande, v. 13, n. 3, p. 196-200. 2018
- KARPINSK, L. A. et al. **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental [recurso eletrônico]**. Dados eletrônicos. Porto Alegre: Edipucrs, 163 p. Disponível em: <http://www.sinduscondf.org.br/portal/arquivos/GestaodeResiduosPUCRS.pdf>. 2009.

LIMA, W. B. C., LIRA, H. L., NEVES, G. A. **Incorporação de resíduo lama do processo de beneficiamento de granito na argamassa expansiva de demolição** Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais – Universidade Federal de Campina Grande, CEP 58109-970, Campina Grande, PB, Brasil. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos (REMAP)*, v. 11, n. 2 (2016) 89–95.

LOPES, Rayane Campos. BACARJI, Edgar. Pisos intertravados com a incorporação de resíduos minerais - Concrete paving blocks with the incorporation of mineral waste. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, V.9, nº1, 2014.

LUCAS, D; BENATTI, C. T. Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 1, n.3, p. 405-418, set./dez. 2008.

MONTANI, C. **XXIX Rapporto marmo e pietre nel mondo 2018**. Carrara – Itália: **Aldus Casa di Edizioni in Carrara**, 2018.

MOURA, W. A; GONÇALVES. J. P; LEITE, R.S. **Utilização do resíduo de corte de mármore e granito em argamassas de revestimento e confecção de lajotas para piso**. *Sitientibus*, Feira de Santana, n.26, p.49-61, jan./jun. 2002

NASCIMENTO, M. V. L. A. de. **Estudos de blocos intertravados de concreto para pavimentação com incorporação de resíduo do polimento do porcelanato**. 2016. 97 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental)-Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru. 2016.

SALGADO, Livia de Melo. **Blocos de concreto para pavimentação produzidos com rejeito de mineração e cinzas de bagaço de cana de açúcar**, Dissertação, Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais, área de concentração em Compósitos e Nanocompósitos Lignocelulósicos, para a obtenção do título de Mestre. Universidade Federal de Lavras. 2018. 86p.

SANTOS, A.V.; BORJA, E.V. **Avaliação das propriedades mecânicas de blocos intertravados com resíduo de pneu reciclado**. *Holos*, Ano 23, Vol. 3, 2007.

SOUZA, A. P.; COUTINHO, A. M. F.; NUNES, J. P. B.; PIRES FILHO, C. A. B.; FAUSTINO, E. E. M.; TRESSMANN, D. M. G. A. Análise dos sistemas construtivos com tijolo solo-cimento e bloco cerâmico: uma comparação de custo e qualidade. **Revista Educação, Meio Ambiente e Saúde**, v. 6, n.4, 2016.

VIDAL, F. W. H; AZEVEDO, H. C. A; CASTRO, N. F. **Resíduos: tratamento e aplicações industriais**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014. p. 433-492. Disponível em: http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1738/1/CCL00070014_CAPITULO_09_opt.pdf

TIAN, H.; ZHANG, Y. X. The influence of bagasse fibre and fly ash on the long-term properties of green cementitious composites. **Construction and Building Materials**, v. 111, p. 237–250, 2016.