



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

NÚCLEO DE TECNOLOGIA

BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

VANDERLAN VIEIRA DOS SANTOS

**DESENVOLVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO COM
INCORPORAÇÃO DE LODO TÊXTIL EM SUBSTITUIÇÃO DA AREIA E RESÍDUO
DE CERÂMICA VERMELHA EM SUBSTITUIÇÃO DO CIMENTO PORTLAND**

Caruaru

2019

VANDERLAN VIEIRA DOS SANTOS

**DESENVOLVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO COM
INCORPORAÇÃO DE LODO TÊXTIL EM SUBSTITUIÇÃO DA AREIA E RESÍDUO
DE CERÂMICA VERMELHA EM SUBSTITUIÇÃO DO CIMENTO PORTLAND**

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial para a
graduação em Engenharia Civil.

Área de concentração: Construção Civil.

Orientadora: Prof. Dra. Ana Cecília Vieira da Nóbrega.

Caruaru

2019

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Simone Xavier - CRB/4 - 1242

- S237d Santos, Vanderlan Vieira dos.
Desenvolvimento de blocos intertravados de concreto com incorporação de lodo têxtil em substituição da areia e resíduo de cerâmica vermelha em substituição do cimento Portland. / Vanderlan Vieira dos Santos. – 2019.
39 f. ; il. : 30 cm.
- Orientadora: Ana Cecília Vieira da Nóbrega.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia Civil, 2019.
Inclui Referências.
1. Blocos de concreto. 2. Lodo residual. 3. Resíduos como material de construção. 4. Resíduos sólidos. I. Nóbrega, Ana Cecília Vieira da (Orientadora). II. Título.
- CDD 620 (23. ed.) UFPE (CAA 2019-485)

VANDERLAN VIEIRA DOS SANTOS

**DESENVOLVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO COM
INCORPORAÇÃO DE LODO TÊXTIL EM SUBSTITUIÇÃO DA AREIA E RESÍDUO
DE CERÂMICA VERMELHA EM SUBSTITUIÇÃO DO CIMENTO PORTLAND**

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial para a
graduação em Engenharia Civil.

Aprovada em, 19 de dezembro de 2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr. Ana Cecília Vieira da Nóbrega – UFPE (Orientadora)

Prof^o. Dr. Flávio Eduardo Gomes Diniz – UFPE (Examinador Interno)

Prof^o. Dr. César Augusto Casagrande – UFPE (Examinador Interno)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente e acima de tudo aos meus pais, Maria Célia Vieira e Valvison José dos Santos, por todo o carinho, esforço, amor, dedicação e incentivos depositados; por me estimularem a realizar meus sonhos através do esforço, trabalho e dedicação, com isso pude ser disciplinado para trilhar caminhos honestos e éticos com a cabeça erguida.

A minha irmã, Valderlâne Carina Vieira dos Santos, que sempre esteve comigo apoiando as decisões e aturando os dias ruins. Agradeço pelo companheirismo e por sempre me incentivar.

Em especial, a Prof. Dra. Ana Cecília Vieira da Nóbrega, minha orientadora, agradeço por me acolher tão cedo, pela dedicação, paciência, por todos os ensinamentos e experiências compartilhadas, pelo companheirismo, amizade, orientações que lapidaram fortemente não só na formação profissional, mas também na pessoa de caráter que me tornei. Minha eterna admiração.

A todos os meus amigos por estarem desde sempre comigo cumprindo os desafios intermináveis e construtivos, sempre incentivando. Agradeço por tudo.

Em especial ao meu grande amigo e companheiro de iniciações científicas, Kalil Ruan Silva da Veiga, uma pessoa de valor imensurável e de grande valor para mim, que sempre estava lá comigo me incentivando nos trabalhos. Inclusive um desses trabalhos resultou neste TCC. Agradeço por tudo meu amigo.

A minha namorada, Andressa Pereira, obrigada por todo carinho, apoio, paciência e incentivo, foram requisitos fundamentais para que eu continuasse firme nessa caminhada.

A todos os professores da UFPE/CAA que contribuíram para minha formação profissional e acadêmica. Agradeço por me apresentarem um vasto leque de conhecimentos e conviver com vocês foi uma experiência incrível de inspiração.

Aos técnicos do Laboratório de Construção Civil/UFPE, Everton Rodrigues e Fabíola França, pelo forte apoio nos ensaios.

“A disciplina nos levará à persistência e esta, ao sucesso.”

Autor desconhecido.

RESUMO

Dentre as indústrias em Caruaru e região, duas se destacam no quesito geração de resíduos, o lodo da indústria têxtil e a dos resíduos de peças inservíveis da indústria de cerâmica vermelha, com destinações finais gerando custos adicionais ou deposição em local inapropriado. Portanto, foi observada a oportunidade de utilizar os resíduos em blocos intertravados para pavimentação, os *pavers*, que vem cada vez sendo mais utilizado devido sua facilidade de aplicação, custo, durabilidade e versatilidade. O lodo têxtil foi incorporado em substituição da areia (0, 5, 10, 15 e 20%, em relação a massa do cimento) juntamente com o resíduo de cerâmica vermelha, em substituição ao cimento Portland (0, 5, 10, 15 e 20%, em relação a massa do cimento). Foram realizados os testes de resistência à compressão aos 7, 14 e 28 dias, bem como resistência à abrasão aos 28 dias, conforme preconizações da NBR 9781 (ABNT, 2013). *Pavers* padrão com resistência à compressão da ordem de 80 MPa foram obtidos já aos 7 dias de idade com CPV-ARI. Além do padrão, apenas o traço com 5% de substituição para produção de *pavers* utilizados em tráfego de pedestres e veículos leves; com isso, os demais traços confeccionados servem apenas para usos menos nobres estruturalmente. Já no teste de abrasão, todos os traços estudados foram aprovados. A cor foi mantida inalterada para todos os *pavers*.

Palavras-chave: Blocos intertravados. *Pavers*. Lodo Têxtil. Resíduo de cerâmica vermelha.

ABSTRACT

Among the industries in Caruaru and the region, two stand out in the generation of waste, the sludge of the textile industry and the waste of the red ceramic industry. Both final destinations generate additional costs or inappropriate final disposals. Therefore, it was observed the opportunity to use these residues in interlocking paving blocks (pavers), which has been increasingly used due to its ease of application, cost, durability and versatility. Textile sludge partially replaced sand (0, 5, 10, 15 and 20%, relative to cement weight) together with the red ceramic residue, replacing Portland cement (0, 5, 10, 15 and 20%, relative to the cement weight). Compressive strength tests were carried out at 7, 14 and 28 days, as well as abrasion resistance tests at 28 days, according the NBR 9781 (ABNT, 2013). Standard pavers with compressive strength of 80 MPa were obtained at 7 days of curing age using CPV-ARI. In addition to the standard paver, only the 5% substitution pavers fit the requirement for the pedestrian and light vehicle traffic uses; with this in mind, the other porcentagens can only be applied for less noble structurally uses. In the abrasion test, all the studied pavers were approved. The color was kept unchanged for all pavers.

Keywords: Interlocked blocks. Pavers Textile sludge. Red ceramic waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pavers.....	17
Figura 2 - Pavimentação feita com pavers.....	17
Figura 3 - Seção transversal do pavimento intertravado.....	19
Figura 4 - Cerâmica vermelha.....	19
Figura 5 - Blocos e telhas de cerâmica vermelha.....	20
Figura 6 - Lavanderia têxtil.....	21
Figura 7 - Coleta do lodo em seu leito de secagem.....	25
Figura 8 - Secagem do lodo ao ar livre.....	26
Figura 9 - Curva granulométrica lodo têxtil.....	29
Figura 10 - Blocos moldados com resíduo lodo têxtil e RCV.....	33
Figura 11 - Resistência à compressão aos 7, 14 e 28 dias de <i>pavers</i> com incorporação concomitante do lodo têxtil (em substituição da areia) e resíduo de cerâmica vermelha (em substituição ao cimento).....	34
Figura 12 - Média da resistência à compressão com seus respectivos desvios padrões.....	34
Figura 13 - Resistência à abrasão (em função da cavidade, em mm) aos 28 dias de <i>pavers</i> com incorporação concomitante do lodo têxtil (em substituição da areia) e resíduo de cerâmica vermelha (em substituição ao cimento).....	37

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Caracterização química do cimento.....	28
Quadro 2 - Caracterização física do cimento.....	28
Quadro 3 - Caracterização física da areia média.....	29
Quadro 4 - Caracterização física do pedrisco.....	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização física do lodo.....	30
Tabela 2 - Composição dos traços estudados em massa (g).....	32
Tabela 3 - Relação do consumo de cimento com a resistência à compressão aos 28 dias de <i>pavers</i> com incorporação concomitante do lodo têxtil (em substituição da areia) e resíduo de cerâmica vermelha (em substituição ao cimento).....	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	JUSTIFICATIVA	14
3	OBJETIVOS	16
3.1	Objetivo Geral	16
3.2	Objetivos específicos.....	16
4	REVISÃO DA LITERATURA	17
4.1	Blocos de concreto para pavimentação intertravada.....	17
4.2	Indústria de cerâmica vermelha	19
4.3	Indústria de Lavanderias Têxteis.....	21
5	ESTADO DA ARTE	22
6	METODOLOGIA	25
6.1	Coleta dos materiais	25
6.1.1	Tratamento do Lodo Têxtil	25
6.1.2	Tratamento do Resíduo Cerâmica Vermelha (RCV)	26
6.1.3	Cimento Portland CPV ARI	26
6.1.4	Agregados.....	27
6.1.5	Resíduo de lodo têxtil	29
6.1.6	Caracterização do Resíduo de Cerâmica Vermelha	30
6.2	Formulação e dosagem.....	30
6.3	Condições de moldagem.....	31
6.4	Testes de propriedades.....	32
6.4.1	Ensaio de Resistência à Compressão	32
6.4.2	Ensaio de Resistência à Abrasão	32
7	RESULTADOS	33
7.1	Verificação da coloração dos <i>pavers</i>	33
7.2	Resistência à Compressão.....	33
7.3	Resistência à Abrasão.....	36
8	CONCLUSÕES	37
	REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

Dentre as indústrias em Caruaru e região, duas se destacam no quesito geração de resíduos, onde as mesmas são a indústria têxtil, com a geração de lodo têxtil, e a indústria de cerâmica vermelha, com os resíduos de cerâmica vermelha (RCV).

O lodo têxtil é um dos resíduos gerados pela indústria têxtil, por sua vez é um de tom azulado derivado de lavanderias e tinturarias industriais, obtido após o tratamento por decantação da matéria em suspensão dos efluentes líquidos. Este precisa de um tratamento prévio antes de ser descartado em um local ideal de destino, além de seu descarte custar muito aos proprietários, visto que o resíduo deve ser destinado a um aterro industrial, tendo que ser pago o transporte desse material e o uso do aterro.

Já na indústria de cerâmica vermelha temos o resíduo de cerâmica vermelha (RCV) proveniente de peças sintetizadas defeituosas e perdas por quebra no transporte. A maior dificuldade não é a geração de resíduos e sim a destinação correta para o descarte, que, geralmente é feito em terrenos baldios ou às margens de rios e estradas.

Dentre os materiais cimentícios, os blocos intertravados de concreto têm sido bastante utilizados no contexto de incorporação e imobilização de resíduos de alta área superficial específica, que absorvem consideráveis porcentagens de água durante a mistura, dificultando a trabalhabilidade das misturas cimentícias. Nesse caso, os blocos intertravados não tem sua trabalhabilidade comprometida quando são adicionados a eles resíduos de alta área superficial, uma vez que eles são moldados por vibrocompressão e também pelo fato de sua fabricação ocorrer em plantas industriais; assim se torna mais fácil a recepção de um novo material a ser incorporado quando comparada com as atividades realizadas no canteiro de obras.

No estado de Pernambuco, estão cadastradas 24 indústrias produtoras de blocos de concreto no banco de dados FIEPE – Federação das Indústrias do Estado de Pernambuco – em 2014. Em Caruaru-PE, encontram-se instaladas 2 indústrias de grande porte de peças pré-moldadas de concreto, que buscam cada vez mais investimentos no mercado local em ascensão.

Portanto, observou-se a oportunidade de utilizar os resíduos em questão, que seriam descartados, na incorporação ao traço de concreto desses blocos conhecidos

como pavers. Desse modo, a presente pesquisa tem como intuito desenvolvimento de blocos intertravados de concreto com substituição parcial da areia pelo lodo têxtil e substituição parcial do cimento Portland pelo resíduo de cerâmica vermelha (dada o relato de sua possibilidade de atividade pozolânica). Com isso, deve-se validar a utilização dos resíduos na produção do concreto e, para isso, a pesquisa terá como testes de propriedades os ensaios de resistência à compressão e resistência à abrasão.

Um fator importante a ser lembrado é a utilização de pigmentos, por parte da indústria de materiais cimentícios, na fabricação de pavers, para dar-lhe a coloração desejada. Entretanto, a adição desses pigmentos prejudica as propriedades do concreto, reduzindo assim a qualidade do produto final. E como o lodo têxtil utilizado na pesquisa tem coloração azulada e o RCV, avermelhada, a ideia também é verificar, como efeito secundário, a influência da incorporação deste resíduo na coloração dos pavers produzidos; caso seja notada uma coloração esteticamente aceitável, o lodo e o RCV poderão ser adicionados ao processo produtivo dos pavers com finalidades também estéticas.

2 JUSTIFICATIVA

A indústria de lavanderia têxtil gera uma enorme quantidade de efluentes, dentre outros resíduos, dentre eles o lodo têxtil. Esse lodo é proveniente do processo de tratamento físico-químico de seus efluentes, podendo ser tóxico para o meio ambiente, caso em sua composição podem ser encontrados vários elementos químicos como chumbo, alumínio, ferro, cobre e vários tipos de corantes. Assim, a depender do local de descarte, pode-se contaminar solos, águas e organismos aquáticos, afetando assim, diretamente e indiretamente o ser humano (LELOUP, 2013).

Isso faz da indústria têxtil uma potencial poluidora do meio ambiente, pois gera enormes quantidades de resíduos sólidos que são descartados na natureza sem receber os tratamentos necessários para reduzir os danos. Esse fato decorre da inviabilidade da execução do tratamento pelas indústrias e pelo custo adicional sem retorno (AVELAR, 2012). Devido à grande quantidade de lodo resultante dos tratamentos de efluentes empregados e do alto custo para a sua destinação final em aterros industriais, a prática de reutilização do lodo têxtil em materiais cimentícios pode ter grande contribuição para a diminuição do impacto ambiental e econômico na cadeia da construção civil e no setor de lavanderias da região (JÚNIOR, 2013).

O Arranjo Produtivo Local (APL) é o setor têxtil do agreste pernambucano, onde o mesmo é o segundo maior polo têxtil do país, ficando atrás apenas de São Paulo. Para manter sua importância e conquistar novos mercados, é fundamental que o APL adote ações que garantam a sustentabilidade ambiental, já que em uma lavanderia, a produção de resíduo pode variar de 50 a 300 m³ por hora.

Por outro lado, vale ressaltar que a indústria de cerâmica vermelha é uma indústria bastante presente no ramo da construção civil. Ela é responsável pela fabricação de tijolos e telhas convencionais e especiais, dentre diversos outros produtos. Estes possuem como matéria prima principal a argila. Constitui em uma área altamente viável devido a abundância de sua matéria prima e desnecessidade de alta tecnologia no seu processo fabril.

Da mesma forma que ocorre no ramo da construção civil em geral, a indústria da cerâmica vermelha é muito tradicional. Devido a isso, é notável a reflexão nos métodos empregados desde o processo de fabricação dos devidos produtos até o armazenamento e transporte. Esses métodos, muitas vezes são inadequados quando visamos o ponto de vista sustentabilidade e também na questão da eficiência, já que

se leva em consideração o custo do processo; isto é, o emprego de menos insumos para obter os resultados desejados, pois há um elevado desperdício de material. O problema é que o desperdício de material na indústria da cerâmica vermelha é notável, isto é, a maior parte do desperdício ocorre no produto final e não na matéria prima. Tal desperdício ocorre devido à quebra e reprovação de algumas peças, gerando assim, uma fonte de resíduos dessa indústria.

Esclarecendo um pouco a questão da quebra e reprovação de peças, acontece o seguinte: peças defeituosas são simplesmente descartadas juntamente com as que quebram durante a fabricação, manuseio interno, transporte e armazenamento. As características de uma peça defeituosa são: trincas, deformações, empenamentos e baixa resistência mecânica. Outro problema, é a destinação final do resíduo gerado, pois geralmente encontramos esse tipo de resíduo depositado em terrenos baldios, margens de rios, acostamento de estradas pouco movimentadas.

Assim, o interesse vem do fato de que ambas as indústrias, têxtil e de cerâmica vermelha, se englobam no quesito “desenvolvimento sustentável”; visto que há uma considerável presença desses dois tipos de indústria em Pernambuco e já há algumas pesquisas que envolvem o reaproveitamento de resíduos industriais por parte de alunos na UFPE.

Além disso, o estado possui diversas empresas no ramo de materiais cimentícios, portanto, esse projeto busca a incorporação de resíduos de cerâmica vermelha e lodo têxtil em blocos de concreto intertravados substituindo os mesmos em relação à massa do cimento Portland.

Diante disso, o desenvolvimento dessa pesquisa busca reutilizar os resíduos de lodo têxtil provenientes das lavanderias e o RCV, ambos, do agreste pernambucano, como uma solução para destinação final dos resíduos, já que as empresas de materiais cimentícios nesse caso estariam desenvolvendo um novo produto mais sustentável, que reaproveita resíduos industriais como material de construção, e ainda tem a possibilidade de talvez adquirir uma coloração diferenciada, visto que o lodo têxtil pode atingir a cor azulada e o RCV a cor alaranjada. Essa questão do resíduo poder gerar uma coloração diferenciada final pode ser uma boa opção, já que no processo de peças coloridas teria a diminuição da implementação do pigmento utilizado.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

O objetivo dessa pesquisa é produzir pavers para pavimentação intertravada com a incorporação do lodo têxtil em substituição da areia e resíduo de cerâmica vermelha em substituição do cimento Portland.

3.2 Objetivos específicos

- Avaliar a possibilidade de moldagem por vibro-compressão de blocos intertravados com a incorporação concomitante do lodo têxtil (em substituição da areia) e resíduo de cerâmica vermelha (em substituição ao cimento);
- Avaliar como a incorporação concomitante do lodo têxtil (em substituição da areia) e resíduo de cerâmica vermelha (em substituição ao cimento) interferem na resistência à compressão e resistência à abrasão dos blocos de concreto para pavimentação;
- Avaliar visualmente as possíveis alterações na coloração dos sistemas produzidos.

4 REVISÃO DA LITERATURA

4.1 Blocos de concreto para pavimentação intertravada

O *paver* ou piso intertravado é uma peça pré-moldada de concreto com fins em pavimentação em vias trafegáveis por pedestres e veículos, apresentando versatilidade, fins ecológicos, elevada resistência, alto conforto de rolamento, durabilidade, estética, conforto térmico e segurança (FERNANDES, 2013).

Figura 1: Pavers.



Fonte: Manual de Pavimento Intertravado

A pavimentação intertravada se caracteriza pela sua simplicidade de assentamento, visto que as peças são simplesmente colocadas sobre uma camada de areia que serve de regularização da base e também atua na distribuição das cargas (FERNANDES, 2013).

Figura 2: Pavimentação feita com pavers



Fonte: Manual de Pavimento intertravado

Alguns benefícios da aplicação do pavimento intertravado com *pavers* de concreto, tanto para o tráfego de pessoas como para veículos pesados, são:

- Durabilidade: comparado ao piso asfáltico e aos paralelepípedos;
- Resistência: resistente aos grandes tráfegos e movimentos;
- Instalação: assentados sobre uma camada de areia, não requer ferramentas diferenciadas, nem mesmo mão de obra especializada;
- Capacidade de escoamento: devido a suas fissuras entre peças, permitem que a água escoe e seja absorvida pelo solo com maior facilidade;
- Uso imediato: pode ser usado logo após sua instalação;
- Questão estética: enorme gama de cores, texturas, formatos e dimensões, possíveis efeitos diferentes de ornamentações.
- Eficiência energética: com cor mais clara e acabamento fino, reflete cerca de 30% a mais de luz do que outros tipos de pavimentos;
- Diminuição da temperatura: como o piso reflete mais luz do que absorve, é uma excelente alternativa para reduzir a temperatura do local;
- Segurança: com sua superfície antiderrapante, garante maior segurança seja para pedestres, ciclistas, deficientes físicos, promovendo maior integração e acessibilidade;
- Reaproveitamento: as peças podem ser retiradas com facilidade e reutilizadas em uma nova obra, evitando desperdícios.

Para aplicação das peças é necessário que se tenha cuidado, pois é um processo fácil, mas requer atenção. O intertravamento é a capacidade que os blocos adquirem de resistir a movimentos de deslocamento individual, seja ele vertical, horizontal ou de rotação em relação a seus vizinhos. Esta técnica é de grande importância para o desempenho e a durabilidade do pavimento. Existem duas condições que são fundamentais para a execução do intertravamento, são elas: contenção lateral e junta preenchida com areia. A primeira tem como objetivo impedir o deslocamento lateral dos blocos da camada de rolamento, promovendo o intertravamento. Já a segunda proporciona a transferência de esforços entre os blocos de concreto, permitindo que eles trabalhem juntos, uns com os outros, e suportem as cargas solicitantes.

Figura 3: Seção transversal do pavimento intertravado



Fonte: Manual de Pavimento Intertravado

Com isso, para a fabricação, o concreto é produzido industrialmente e compactado através de vibroprensas que, por sua vez, proporcionam elevada compactação às peças, aumentando sua resistência mecânica e durabilidade. Posteriormente, as peças são destinadas à cura, onde há um controle de umidade para garantir que não ocorra a evaporação precoce da água e que não comprometa a resistência final, o que otimiza a hidratação do cimento e proporciona menor absorção de água da peça, permanecendo nesse processo por 24 horas.

Nesta pesquisa, serão envolvidas três indústrias, a de materiais cimentícios, supracitada, a de lavanderias têxteis e a de cerâmica vermelha.

4.2 Indústria de cerâmica vermelha

Quando falamos em cerâmica vermelha, a Associação Brasileira de Cerâmica tem este termo como uma expressão com significado amplo, fazendo com que sejam aqueles materiais utilizados na construção civil (argila expandida, tijolos, blocos, elementos vazados, telhas e tubos cerâmicos) e alguns de uso doméstico e afins. Uma característica desses materiais é a sua coloração avermelhada.

Figura 4: cerâmica vermelha



Fonte: website tudoengcivil (2019)

De acordo com a Anicer, Associação Nacional da Indústria Cerâmica, a indústria de cerâmica vermelha brasileira é composta por 6.903 empresas, que geram faturamento de R\$ 18 bilhões ao ano. Esse segmento tem como objetivo disponibilizar ao mercado e ao consumidor produtos qualificados e sustentáveis que possam apoiar o desenvolvimento crescente e contínuo do País em todas as frentes: da construção de habitações de interesse social até as obras de infraestrutura. O segmento representa 4,8% da indústria da Construção Civil e gera mais de 400 mil postos de trabalho diretos e 1,25 milhão indiretos. As peças brasileiras abastecem os mercados regionais, países vizinhos e outros que já conhecem o potencial, a qualidade, a resistência e a criatividade da indústria de cerâmica vermelha brasileira. No Brasil, o principal fornecedor de materiais para edificações, coberturas e saneamentos é o setor de blocos, telhas e tubos cerâmicos. De acordo com os dados coletados dessa indústria, mensalmente apenas as fábricas de blocos produzem mais de 4 bilhões de unidades, e a fabricação de telhas ultrapassa 1 bilhão de peças neste mesmo intervalo de tempo.

Figura 5: blocos e telhas de cerâmica vermelha



Fonte: website da empresa Acertar (2019)

Os produtos cerâmicos fabricados aqui no Brasil tiveram aceitação internacional. Isto é um reflexo do potencial, qualidade, resistência e criatividade por parte da indústria de cerâmica vermelha brasileira. Os grandes aspectos positivos podem ser justificados pela natureza da matéria prima utilizada, já que os ceramistas possuem as argilas com excelentes propriedades minerais, o que garante aos produtos finais qualidade, durabilidade, conforto térmico e acústico e preço competitivo, quando comparados com as demais opções oferecidas pelo mercado.

Diante disso, vale destacar que assim como esta pesquisa, o ramo industrial da cerâmica vermelha tem a preocupação em relação aos seus objetivos sustentáveis. Portanto, a sustentabilidade acontece através de práticas, políticas e produtos que reúnem cuidados e ações que respeitam e desenvolvem o meio ambiente, o desenvolvimento econômico, o aprimoramento humano e a responsabilidade social.

Para que ocorra contínuos processos de crescimento e qualificação, as indústrias de cerâmica vermelha integram o Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-H), onde se trata de uma ação do Governo juntamente com a iniciativa privada a favor da conformidade técnica e do estímulo ao desenvolvimento profissional e gerencial da cadeia da construção civil.

4.3 Indústria de Lavanderias Têxteis

Apesar de surgirem a bastante tempo, o universo das lavanderias ganhou destaque em 1970 com Marithé François Girbaud com a invenção do Stonewash, que significa “lavagem com pedra”, que na época elevou as qualidades de conforto das peças. O tratamento ganhou adesão em massa, alcançando o nível industrial. Essa técnica ajuda a aumentar a flexibilidade e suavidade de tecidos que antes eram duros ou rígidos. Posteriormente surgiram outros tratamentos de desenvolvimentos técnicos passando pelo jato de areia, resinas e oxidantes.

Devido a diversos setores de fabricação e venda de roupas, a região do agreste pernambucano, mais precisamente nas cidades de Caruaru, Toritama e Santa Cruz do Capibaribe, onde estão concentradas cerca de 200 lavanderias, que são responsáveis pelo tratamento e acabamento de peças em jeans, realizam diversos serviços como por exemplo: lavagem, pigmentação, entre outros, são produzidas uma grande quantidade de lodo têxtil que necessita de um tratamento e uma destinação eficiente.

Figura 6: lavanderia têxtil



Fonte: website Lavanderia Toritama (2019)

5 ESTADO DA ARTE

Trabalhos tem sido reportando embasados no uso de lodo têxtil em materiais cerâmicos, tanto por adição como por substituição.

A. H. Moreira *et al* (2001) estudou, em seu trabalho, o efeito da adição do lodo de águas residuais da indústria têxtil nas propriedades de materiais de construção, e sua conclusão foi que existe uma significativa quantidade de matéria orgânica no lodo, pois na análise de perda ao fogo, a calcinação do lodo à 1000°C mostrou perda de 34,59% em peso, que corresponde à quantidade de matéria orgânica existente no lodo. E também o processo permite incorporar grande quantidade de lodo, com isso, pode absorver uma percentagem elevada do mesmo.

Já o L. C. S. Herek *et al.* (2009) trabalharam a incorporação de lodo de lavanderia industrial na fabricação de tijolos cerâmicos, através do processo de extrusão. Ele afirma que o lodo gerado em ETES de lavanderias industriais é um material não inerte de Classe IIA, devido à sua solubilidade em água. Testou-se a qualidade dos tijolos através de ensaios de resistência à compressão, absorção de água, lixiviação e solubilização. Teve-se então como resultado que a resistência à compressão é inversamente proporcional à quantidade de lodo adicionada, enquanto que a absorção de água é diretamente proporcional. No ensaio de lixiviação, nenhum dos metais pesados analisados foi lixiviado. E o ensaio de solubilização comprovou que o produto é inerte, visto que nenhum dos metais analisados foi detectado. A conclusão final de L. C. S. Herek foi que é possível a fabricação de tijolos de vedação com até 20% de lodo incorporado em argila.

R. C. Aquino *et al.* (2014) estudaram o efeito da adição de resíduo de lodo da indústria têxtil na produção de blocos cerâmicos de vedação, onde os blocos foram avaliados para misturas com 0%, 2%, 4%, 6%, 8% e 10%, em peso, de resíduo de lodo inserido como substituição parcial em uma massa padrão utilizada por uma indústria de cerâmica vermelha para fabricação de blocos cerâmicos. Teve-se como resultado que a adição do lodo fez com que houvesse diminuição da retração linear, aumento na perda ao fogo, aumento na absorção de água e diminuição na tensão de ruptura à flexão. A melhor formulação utilizada foi a que continha 2% de lodo, que por sua vez apresentou pouca variação em relação à massa cerâmica sem lodo, sendo um teor considerável para produção em escala industrial.

S. S. Hokazono *et al.* (2013) estudaram o uso do lodo da indústria têxtil como agregado ao concreto para análise de resistência. Neste trabalho, utilizou-se cimento

Portland CII e um traço padrão de 1: 2: 3 na confecção dos corpos, com uma relação de água e cimento (A/C) de 0,5, atingindo uma resistência à compressão de 15 MPa. Fizeram-se corpos de prova a partir do traço inicial substituindo parcialmente a areia média por lodo em uma proporção de 15%, resultando em 3 composições diferentes, que foram ensaiados em relação à resistência à compressão aos 3, 7 e 21 dias. Neste teste, constatou-se que a resistência dos corpos de provas rompidos em 7, 14 e 21 dias foi de respectivamente 13.71 MPa, 16.21 MPa e 15.98 MPa. Concluiu-se então que não seria possível a utilização desse concreto em peças estruturais na construção civil, pois o mesmo não atinge a resistência mínima exigida por norma de $f_{ck} = 20$ MPa. Assim esse concreto poderia ser utilizado em peças não estruturais como: contra-piso, base para regularização de solos, envelopamento de tubulações, acabamento de peças em concreto, entre outros fins. O concreto sem substituição atingiu um $f_{ck} = 16,95$ MPa, já o concreto com substituição, um $f_{ck} = 15,98$ MPa.

Já se referindo ao uso do resíduo de cerâmica vermelha, também há diversas pesquisas desenvolvidas. Com o intuito de se determinar o comportamento do agregado reciclado de cerâmica vermelha na produção de concretos, Cabral, A. E. B. *et al.* (2009) desenvolveram um programa experimental onde se substituiu os agregados miúdos e graúdos naturais pela cerâmica vermelha, além de se variar a relação água/cimento. Os concretos produzidos foram analisados com relação a três propriedades: resistência à compressão, módulo de deformação e volume de poros permeáveis (VPP). Como resultado, todos os modelos obtiveram excelentes coeficientes de determinação, acima de 95%. Conclui-se também que a substituição do agregado miúdo natural pelo miúdo reciclado resulta em um acréscimo da resistência à compressão dos concretos produzidos e para a substituição do agregado graúdo natural pelo graúdo reciclado, um decréscimo. Para as demais propriedades do concreto estudadas, observou-se que a utilização dos agregados reciclados, tanto graúdo quanto miúdo, influi negativamente no comportamento do concreto, sendo que o agregado do tipo graúdo reciclado exerceu em todas as propriedades, uma maior influência.

No Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), foi feita uma pesquisa utilizando os resíduos de cerâmica vermelha na forma de adição mineral para a produção de concretos autoadensáveis (CAA), sendo considerada tanto na produção de cimentos compostos quanto como adição ao concreto para a obtenção das propriedades específicas do CAA. Foram feitos ensaios para medir os parâmetros de

autoadensabilidade, de acordo com a NBR 15823/2010. Também foram realizados ensaios físicos e mecânicos para a determinação do índice de vazios, absorção de água, massa específica e resistência à compressão. Por fim, o constatou que os resíduos de cerâmica vermelha gerados apresentam condições de utilização na forma de pozolana, tanto na incorporação para a produção do cimento composto quanto na utilização como adição de materiais finos ao CAA, melhorando a estabilidade da mistura e suas propriedades físicas, mecânicas e, possivelmente, de durabilidade.

Em outra pesquisa, Angela Teresa Costa Sales e Ricardo dos Santos Alferes Filho, da Universidade de Federal de Sergipe, estudaram o efeito do pó de resíduo cerâmico como adição ativa para o concreto. Verificou-se a utilização de pó de resíduo de cerâmica em substituição parcial ao cimento Portland na produção de concretos. Na análise da atividade pozolânica desse material, o ensaio com argamassa de cimento resultou em um índice de 76,9%. Para avaliar o comportamento do concreto, foram produzidas misturas com substituição de 10%, 20% e 40% do cimento pela adição de pó de resíduo cerâmico. Ensaio de resistência mecânica à compressão mostraram que, aos 28 dias, houve redução de 11% dessa propriedade para a substituição de 10% do cimento; houve aumento de 11% para a substituição de 20% do cimento; e 17% de redução para a substituição de 40% do cimento. O módulo de elasticidade dos concretos não sofreu significativas variações, registrando-se apenas um aumento de 8% para o concreto com 20% de adição. Não houve grandes variações nos índices físicos com a introdução da adição ao concreto. Pode-se concluir que a substituição do cimento por adição de pó cerâmico, nos teores estudados, não causou significativa redução da resistência mecânica, rigidez e compacidade nos concretos estudados, indicando a viabilidade de sua aplicação em concretos, com vantagens relacionadas à preservação ambiental, pela incorporação do resíduo cerâmico.

6 METODOLOGIA

6.1 Coleta dos materiais

Os materiais utilizados na pesquisa (agregados, cimento Portland, lodo têxtil e cerâmica vermelha) foram gentilmente doados em empresas parceiras da UFPE-CAA - Laboratório de Construção Civil (LCC) do CAA - onde foi realizada a pesquisa.

6.1.1 Tratamento do Lodo Têxtil

Para a incorporação do lodo têxtil nos traços de concreto dos pavers foi necessário o seu beneficiamento através de processos físicos; pois o lodo têxtil, in natura, possui muita água e concentração desuniforme (Figura 7).

Assim, após a coleta do lodo, sua secagem foi realizada em duas etapas. A primeira etapa consistiu em secagem ao ar livre por 24h. Já a segunda etapa consistiu em secagem em estufa a $100^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ por mais 24h. Após secagem completa, o lodo passou por beneficiamento granulométrico em moinho de bolas durante 2 horas. Por fim, foi peneirado em agitador elétrico em malha #200 (abertura de 0,75mm), utilizando apenas o passante, a fim de atingir uma finura adequada a sua incorporação no sistema.

Figura 7: Coleta do lodo em seu leito de secagem



Fonte: do Autor (2019)

Logo após a secagem, o resíduo seguiu para moagem em um moinho de bolas Abrasão Los Angeles (Figura 10). O resíduo passou cerca de 2 horas na moagem e foi adotada uma quantidade de 5 kg por vez, com o intuito de garantir uniformidade no produto final. Os respectivos aspectos do resíduo quando coletado, logo após a secagem e por fim, moído, podem ser visualizados, sequencialmente, na Figura 8.

Figura 8: Processamento do lodo têxtil



Fonte: do Autor (2017)

6.1.2 Tratamento do Resíduo Cerâmica Vermelha (RCV)

Os RCVs foram coletados em uma cerâmica parceira. Para produção desse tipo de cerâmica, que nesse caso, são feitos dois tipos diferentes de telhas, um é calcinado a uma temperatura de 750°C e o outro a uma temperatura de 900°C. O processo de descarte dos resíduos gerados é feito conjuntamente, o que significa que o RCV utilizado nesta pesquisa contém cerâmica de ambos os tipos.

Devido a sua forma irregular e desuniforme, o RCV, assim como o resíduo lodo têxtil, passou por beneficiamento granulométrico em moinho de bolas (Abrasão Los Angeles), após ter sido quebrado em pedaços menores manualmente, para facilitar a moagem. Foi utilizada a mesma metodologia de otimização do tempo para atingir a granulometria do material de Alcântara (2015), que forneceu o tempo de moagem necessário para atingir a finura adequada do RCV (mesmo moinho e mesma cerâmica vermelha utilizada). Este tempo é de 2,5 horas de moagem, com o qual cerca de 71% do material passa na peneira de abertura 75 μm (#200). Desta forma, a moagem ocorreu em ciclos de 2,5 horas, sendo moído 10 kg de RCV a cada ciclo.

6.2 Caracterização dos materiais de partida

O cimento Portland CP V ARI e os agregados – areia média, e pedrisco (brita 0), bem como o lodo têxtil foram caracterizados.

6.1.3. Cimento Portland CPV ARI

De acordo com Fernandes (2013) para a produção de blocos intertravados de concreto, devido a necessidade de manipular no dia seguinte, são indicados os cimentos do tipo II (composto) e do tipo V (ARI), por expressarem maior resistência nas primeiras idades, quando comparados a outros tipos de cimento (tipos III e IV). O cimento CP V ARI, nas idades iniciais, chega a alcançar o dobro da resistência do

cimento CP II, mesmo o tipo II quando comparado aos outros tipos de cimento (tipos III e IV) tenha uma boa resistência inicial. Devido a esses motivos foi escolhido o cimento CP V ARI, da marca MIZU, para execução da presente pesquisa.

As características químicas do cimento CP V ARI, fornecidas através do boletim técnico da empresa de cimento, para o lote utilizado está explícito no Quadro 1, bem como suas características físicas estão mostradas no Quadro 2. Em laboratório foram caracterizadas sua finura (%) NBR 11579 (ABNT, 2013) e massa unitária (g/cm^3), segundo a NBR NM 23 (ABNT, 2001).

Quadro 1: Caracterização química do cimento

Caracterização Química	Resultado (%)
Perda ao Fogo	3,99
Resíduo Insolúvel	0,84
SO ₃	3,1
CaO Livre	1,71

Fonte: MIZU (2019)

Quadro 2: Caracterização física do cimento

Caracterização física	Unidade	Resultado
Início de pega	Minutos	86,67
Fim de pega	Minutos	134,26
Resistência à compressão (1 dia)	MPa	21
Resistência à compressão (3 dias)	MPa	31,96
Resistência à compressão (7 dias)	MPa	39,43
Resistência à compressão (28 dias)	MPa	49,26

Fonte: MIZU (2019)

6.1.4. Agregados

Todos os agregados utilizados nesse projeto são os mesmos que a empresa parceira de pré-moldados usa em sua fabricação de *pavers*. Com isso o material foi cedido atenciosamente, foi um tipo de agregado miúdo e um tipo de agregado graúdo. Para sua caracterização física, primeiramente, todo o material foi seco em estufa a 105°C durante um período de 24 horas. As areias foram caracterizadas em termos de teor de umidade pela NBR 6457 (ABNT, 2016), granulometria pela NBR NM 248 (ABNT, 2001), inchamento (%) pela NBR 6467 (ABNT, 2006), massa específica real (g/cm^3) pela NBR NM 52 (ABNT, 2009), massa específica aparente (g/cm^3) pela NBR NM 52 (ABNT, 2009) e matéria orgânica (p.p.m.) para agregados miúdos e graúdos pela NBR NM 49 (ABNT, 2009).

De acordo com a norma NBR 7211 (ABNT, 1983), o agregado miúdo e graúdo empregados foram classificados como areia média e pedrisco (brita 0), respectivamente. Para caracterização granulométrica com dimensão máxima característica e módulo de finura dos agregados, foram seguidos de acordo com a norma NBR NM 248 (ABNT, 2007); para determinar a massa específica, NBR 9776 (ABNT, 1987) e para determinação da massa unitária, NBR NM 45 (ABNT, 2006). Nos Quadros 3 e 4 a seguir, estão sendo apresentadas as caracterizações da areia e do pedrisco, respectivamente.

Quadro 3: Caracterização física da areia média

Determinações	Método de Ensaio	Resultados Obtidos		
Composição granulométrica	NM 248	Abertura da peneira	Porcentagem retida	
		ABNT (mm)	Individual	Acumulada
		4,75	1,01	1,01
		2,36	4,03	5,04
		1,18	8,67	13,71
		0,59	24,7	38,41
		0,3	19,73	58,14
		0,15	15,66	73,8
		fundo	26,04	99,84
Dimensão máxima característica	NM 248	2,36 mm		
Módulo de finura	NM 248	2,9		
Massa específica	NBR 9776	2,54 g/mL ou g/cm³		
Massa Unitária	NM 45	1,44 g/mL ou g/cm³		

Fonte: Do Autor (2019)

Quadro 4: Caracterização física do pedrisco

Determinações	Método de Ensaio	Resultados Obtidos		
Composição granulométrica	NM 248	Abertura da peneira	Porcentagem retida	
		ABNT (mm)	Individual	Acumulada
		9,5	0,13	0,13
		4,75	73,32	73,45
		2,36	24,51	97,95
		1,18	0,42	98,37
		0,59	0,08	98,45
		0,3	0,08	98,53
		0,15	0,16	98,69
		fundo	1,23	99,92
Dimensão máxima característica	NM 248	2,36 mm		
Módulo de finura	NM 248	2,9		

Massa específica	NBR 9776	2,54 g/mL ou g/cm ³
Massa Unitária	NM 45	1,44 g/mL ou g/cm ³

6.1.5. Resíduo de lodo têxtil

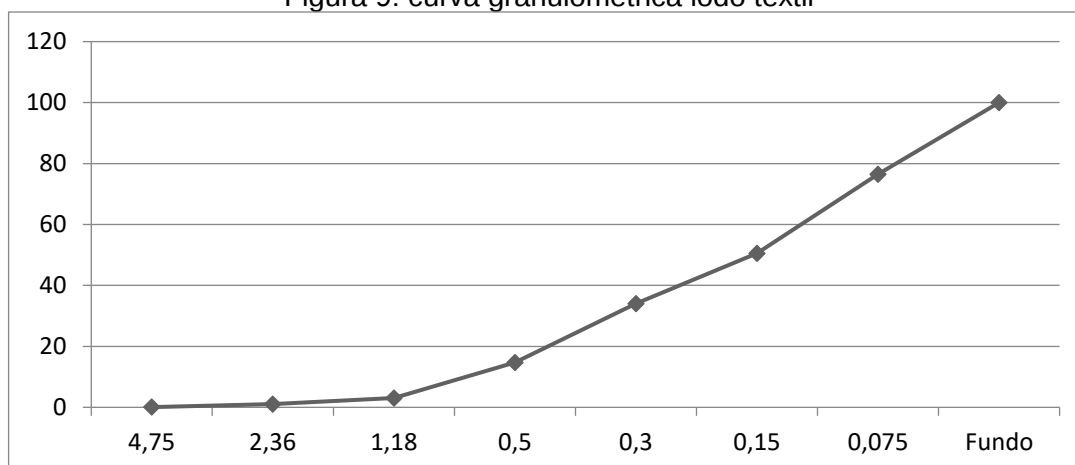
A caracterização do resíduo lodo têxtil foi feita a partir de sua granulometria, onde pôde-se perceber que se trata de um material com muito fino e de efeito fíler, pois quase 80% é passante na malha 200 (Tabela 1, Figura 9). Após o ensaio granulométrico, foi possível também o cálculo do módulo de finura e a determinação do diâmetro máximo característico. O módulo de finura calculado foi de aproximadamente 1,04. E o diâmetro máximo característico determinado foi de 1,18mm.

Tabela 1: caracterização física do lodo

Peneira (mm)	Massa de Lodo	% Retida	% Retida Acumulada
4,75	0,6	0,075376884	0,075376884
2,36	7,6	0,954773869	1,030150754
1,18	16,6	2,085427136	3,115577889
0,5	92,7	11,64572864	14,76130653
0,3	153,9	19,33417085	34,09547739
0,15	130,7	16,41959799	50,51507538
0,075	206,5	25,94221106	76,45728643
Fundo	187,4	23,54271357	100

Fonte: Do Autor (2019)

Figura 9: curva granulométrica lodo têxtil



Fonte: Do Autor (2019)

6.1.6 Caracterização do Resíduo de Cerâmica Vermelha

Por se tratar de um resíduo que foi o mesmo utilizado por Alcântara (2015). Toda a caracterização e técnicas utilizadas se encontram bem descritos em Alcântara (2015). De uma forma geral, o RCV apresentou massa específica de 2,69 g/ml e massa unitária 0,98 g/ml. Área superficial 27,31 m²/g com presença de finos com maior frequência em torno de 15 µm.

O resíduo de cerâmica em questão não possui propriedades pozolânicas; no entanto, não é inerte, conferindo certa reatividade pozolânica ao sistema. O índice de atividade pozolânica Chappelle ($I_{Ca(OH)_2}$) encontrado do resíduo foi de 311,71 mg CaO/g em Alcântara (2015). A autora relata que, pelo método de Chappelle, para o material ser considerado efetivamente pozolânico, deve apresentar um índice de consumo mínimo de 330 mg de CaO/g da amostra (CHRISTÓFOLLI, 2010).

Por fim, o difratograma do RCV apresentou picos representativos de minerais cristalinos como quartzo, anortita e geotita, não acompanhados de halo amorfo significativo, caracterizando o RCV como pouco reativo e, conseqüentemente, de baixa pozolanicidade. Alcântara (2015) ainda relata a natureza sem poros, densa e fechada do RVC, apresentando planos de clivagem provenientes do processo de moagem, além de grãos menores aderidos à superfície de grãos maiores, responsáveis pelo incremento da área superficial do RCV.

6.2 Formulação e dosagem

O traço do *paver* padrão foi o otimizado por Alcantara (2015), cuja dosagem seguiu a metodologia da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) para concretos secos. A natureza dos agregados utilizados nesta pesquisa é a mesma utilizada por Alcantara (2015); tal fato garante a reprodutibilidade do traço padrão. O lodo têxtil foi incorporado em substituição da areia (0, 5, 10, 15 e 20%, em relação a massa do cimento) juntamente com o resíduo de cerâmica vermelha, em substituição ao cimento Portland (0, 5, 10, 15 e 20%, em relação a massa do cimento). A substituição concomitante significa que será incorporado ao mesmo tempo os dois resíduos citados anteriormente. A substituição trata-se de uma retirada parcial de um determinado elemento do traço, com isso o cálculo foi realizado em relação à massa do cimento. Por fim, após o cálculo das massas, foram substituídos o lodo têxtil em relação ao agregado miúdo (areia) e o RCV em relação ao cimento. A Tabela 1 compila a quantidade de materiais utilizados nos traços avaliados.

Tabela 2: Composição dos traços estudados em massa (g).

Traço	%LD*	% RCV**	Cimento	Areia	Pedrisco	a/c	Lodo	RCV
T0%	0	0	3946,05	8934,99	7674,34	1775,72	0	0
T5%	5,0	5,0	3748,74	8768,30	7674,34	1775,72	103,53	169,30
T10%	10,0	10,0	3551,44	8601,60	7674,34	1775,72	207,07	338,60
T15%	15,0	15,0	3354,14	8434,90	7674,34	1775,72	310,60	507,91
T20%	20,0	20,0	3156,84	8268,20	7674,34	1775,72	414,14	677,21

*% de lodo têxtil (substituindo areia, massa em relação à massa de cimento). ** % de resíduo de cerâmica vermelha (substituindo cimento, massa em relação à massa de cimento).

Fonte: Do Autor (2019)

6.3 Condições de moldagem

Para iniciarmos a moldagem é necessário ter a quantidade de material de cada traço pesado conforme a quantidade calculada, para isso, a medição dos materiais para confecção de todos os traços foi feita em massa, garantindo maior rigorosidade no controle da produção.

Com isso, para a mistura dos traços foi utilizada uma betoneira de 400 L. A inserção individual dos materiais na betoneira foi seguida segundo Alcântara (2015), obedecendo a seguinte ordem: água (80%), pedrisco (100%), areia média (100%); após homogeneização inicial dos agregados com a água, adiciona-se o cimento (100%) e o restante da água, esta última em pequenas frações pouco a pouco. Quanto às formulações de lodo têxtil e RCV, esses eram misturados previamente ao cimento e colocados na betoneira junto com o mesmo. Ao término da inserção da última fração de água, iniciava-se a contagem do tempo de mistura. O tempo de mistura dos materiais para a metodologia aplicada é de 2 a 4 minutos. Para o presente trabalho observou-se que o tempo de 2 minutos e 30 segundos (com parada em 1 minuto de mistura para limpeza das pás da betoneira) era suficiente para a homogeneização da mesma.

Após a mistura ficar pronta, a mesma era levada até a vibroprensa para moldagem das peças. O tempo de vibroprensagem foi determinado durante os processos de moldagem de Alcântara (2015), sendo que foi utilizado 30 segundos, posteriormente parava-se para conferir visualmente e por fim vibroprensava mais 20 segundos, totalizando 50 segundos de vibroprensagem, com isso as peças atingiram aproximadamente 7 cm de altura, bem como uma boa conformação e aparência.

Para todos os traços realizados não foi necessário o uso de nenhum desmoldante na fôrma e também não foi utilizado superplastificante.

O processo de cura se deu através de borrifamento de água nas peças e cobrimento com uma lona preta nas primeiras 24 horas de moldagem, ao longo dessas horas eram feitas seções de borrifamentos em intervalos de tempos distribuídos, caracterizando assim a cura inicial de um dia. O objetivo de borrifar as peças e de cobri-las com plástico preto eram de manter a umidade e o calor de hidratação do sistema, bem como de evitar a evaporação da água das reações de hidratação do cimento. Logo após, os *pavers* foram levados cuidadosamente e imersos em um tanque (caixa d'água adaptada), com água e cal até a data de realização dos testes.

6.4 Testes de propriedades

As propriedades testadas dos *pavers* desenvolvidos foram as recomendadas pela NBR 9781 – Peças de Concreto par Pavimentação – Especificação e Métodos de Ensaio (ABNT 2013): resistência à compressão, absorção de água e resistência à abrasão. Além disso, foi verificada a influência da adição do lodo têxtil e RCV na cor dos sistemas produzidos.

6.4.1 Ensaio de Resistência à Compressão

Corpos de prova do *paver* padrão e das diversas formulações (6 amostras de cada traço) foram testados em termos de resistência à compressão em prensa Universal do Laboratório de Construção Civil (LCC) do CAA, aos 7, 14 e 28 dias de idade, seguindo os preceitos da NBR 9781 (ABNT, 2013). São aprovados os *pavers* que possuírem resistência à compressão igual ou superior à resistência mínima exigida pela norma (35 MPa) para *pavers* utilizados em tráfego de pedestres e veículos leves.

6.4.2 Ensaio de Resistência à Abrasão

Corpos de prova do *paver* padrão e das diversas formulações (3 amostras de cada traço) foram testados em termos de resistência à abrasão, aos 28 dias de idade, seguindo os preceitos da NBR 9781 (ABNT, 2013). Vale salientar que o abrasímetro (equipamento utilizado a medição da resistência à abrasão) foi montado no próprio LCC de acordo com a norma citada anteriormente. E, são aprovados os *pavers* que possuírem resistência à abrasão maior ou igual à resistência à abrasão mínima exigida pela norma (representada por uma cavidade máxima de 23 mm produzida pelo abrasímetro).

7 RESULTADOS

7.1 Verificação da coloração dos *pavers*

Não houve alteração visual quanto à coloração final dos *pavers* com a incorporação do lodo têxtil e do resíduo de cerâmica vermelha, não podendo ser usados com fins estéticos, mas exacerbando o benefício de não haver mudança no produto já atualmente comercializado e que o mercado está acostumado a consumir. Desse modo, ficando aparentemente idêntico ao *paver* padrão, como pode ser visto na Figura 10.

Figura 10: blocos moldados com resíduo lodo têxtil e RCV

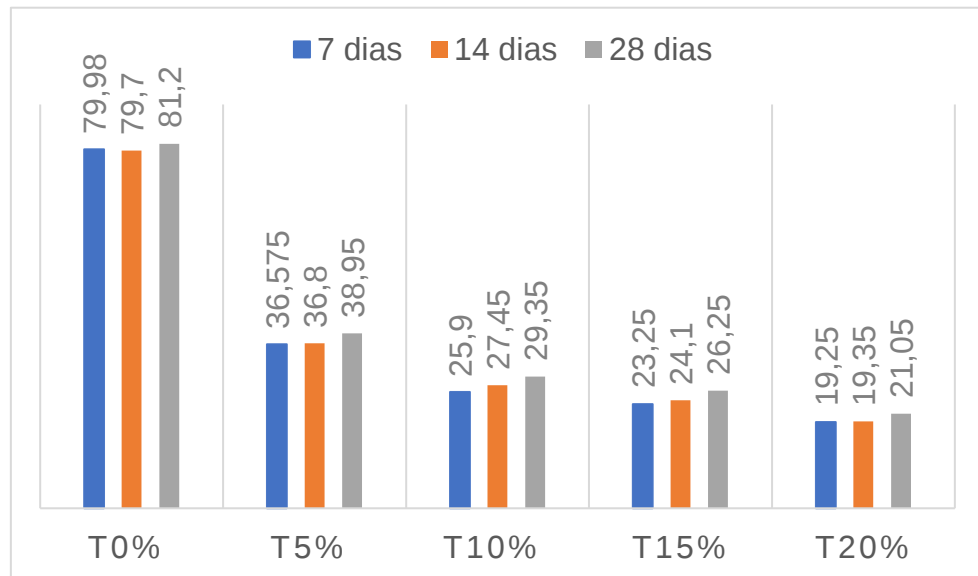


Fonte: do Autor (2019)

7.2 Resistência à Compressão

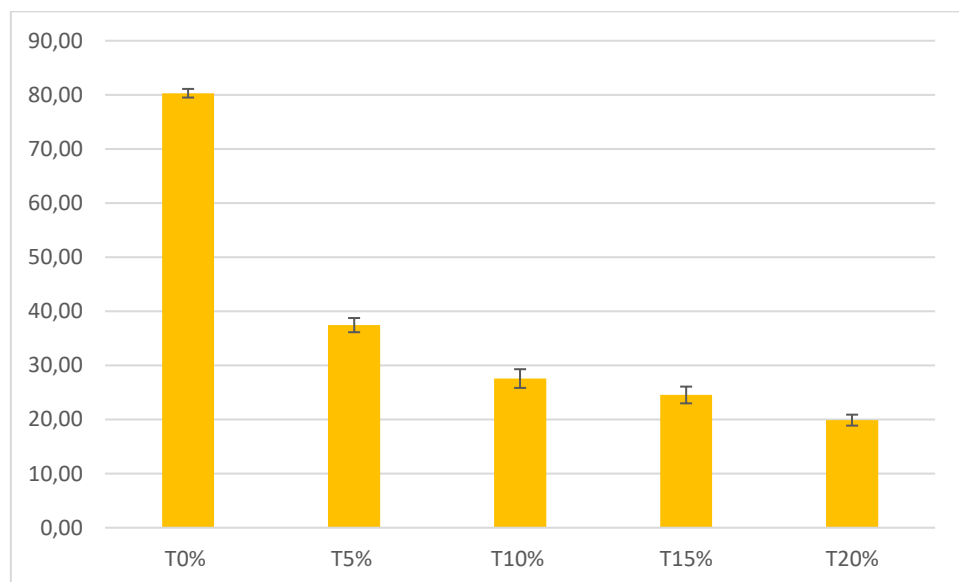
As resistências à compressão médias para 6 cps (Figura 11) e os respectivos desvios-padrões (Figura 12) encontram-se apresentados nos gráficos expostos a seguir para as idades de 7, 14 e 28 dias.

Figura 11: resistência à compressão aos 7, 14 e 28 dias de *pavers* com incorporação concomitante do lodo têxtil (em substituição da areia) e resíduo de cerâmica vermelha (em substituição ao cimento).



Fonte: Do Autor (2019)

Figura 12: média da resistência à compressão com seus respectivos desvios padrões.



Fonte: Do Autor (2019)

Observa-se no gráfico que *pavers* com resistência da ordem de 80 MPa foram obtidos com o cimento CPV-ARI; ressalta-se resistências bem superiores a Alcântara (2015), que alcançou em torno de 35 MPa aos 28 dias com o mesmo traço e materiais de partida, em função do cimento utilizado (CPIIZ-32). Com o aumento da idade de

cura, no entanto, há uma tendência ao aumento da resistência à compressão em todos os traços avaliados, semelhante ao padrão.

Quando da incorporação concomitante dos resíduos, em sua menor proporção, 5%, já se reduziu a um pouco mais da metade da resistência à compressão, comparado com o valor obtido para o traço padrão; mas ainda atingindo-se valores superiores a 35 MPa. Assim, apenas o traço com substituição 5% foi considerado adequado, segundo os preceitos da NBR 9781 (ABNT, 2013), como *pavers* para serem utilizados em tráfego de pedestres e veículos leves.

Perdas consideráveis de 80 MPa para 20 MPa foram encontradas quando da substituição concomitante de 10%. O aumento da quantidade de finos na mistura, aumentando a área superficial pode interferir diretamente na quantidade mínima de cimento para que as reações de hidratação aconteçam plenamente (o aspecto final dos *pavers* na Figura 10 sugere esse fenômeno), de forma que estudos mais específicos de cinética e termodinâmica de reações de hidratação nesse sistema proposto necessitam ser realizados. Bem como aumentos na quantidade de água a fim de promover as reações de hidratação, bem como o contato interpartículas maximizado quando da vibro-compressão.

Mas, prioritariamente, esse comportamento já era esperado em função da determinação do RCV ora em estudo não ser pozolânico e, ainda, se ter uma carga de lodo têxtil no sistema. Diante disso, foram calculados os consumos de cada traço para obter uma relação com sua resistência à compressão aos 28 dias, para que seja observada a taxa de relação consumo/compressão e com isso veremos como será seu comportamento, conforme Tabela 3.

Tabela 3: relação do consumo de cimento com a resistência à compressão aos 28 dias de *pavers* com incorporação concomitante do lodo têxtil (em substituição da areia) e resíduo de cerâmica vermelha (em substituição ao cimento).

Traço	Consumo _{cimento} (Kg/m ³)	R _{compressão} (28 dias, MPa)	(Consumo _{cimento} /R _{compressão} , Kg*m ⁻³ *MPa ⁻¹)
T _{0%}	364,9244	81,20	4,494
T _{5%}	344,8353	38,95	8,853
T _{10%}	324,9587	29,35	11,07
T _{15%}	305,2912	26,25	11,63
T _{20%}	285,8295	21,05	13,58

Fonte: Do Autor (2019)

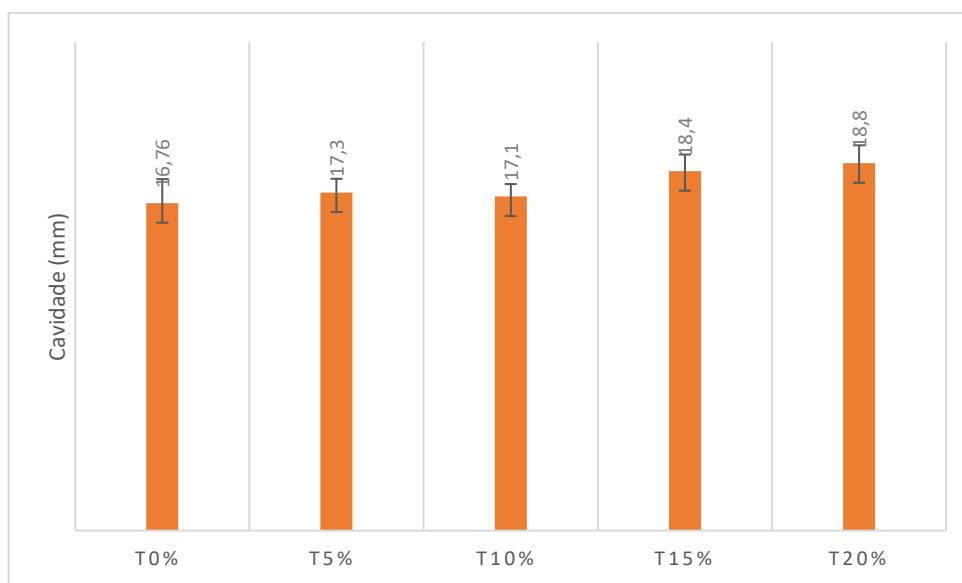
Como é possível observar na Tabela 3, tem-se um aumento gradual na relação consumo_{cimento}/R_{compressão} (Kg*m⁻³*MPa⁻¹) com a incorporação de mais finos (sem ação

aglomerante) no traço. Um aumento de 50% já é alcançado com apenas 5% de substituição. Com isso, verifica-se que, quanto mais finos sem ação aglomerante são incorporados no sistema (substituindo o cimento), menos consumo teremos, e, consequentemente, a resistência à compressão irá decair bastante, uma vez que o efeito fíler tem certa contribuição no preenchimento de vazios e compacidade do sistema, mas não contribui na formação das fases hidratadas (a não ser por ações de ancoragem de nucleação de fases, por exemplo).

7.3 Resistência à Abrasão

Os valores médios de cavidade para 3 cps e os respectivos desvios-padrões encontram-se apresentados no gráfico exposto na Figura 13, para as idades de 28 dias.

Figura 13: resistência à abrasão (em função da cavidade, em mm) aos 28 dias de *pavers* com incorporação concomitante do lodo têxtil (em substituição da areia) e resíduo de cerâmica vermelha (em substituição ao cimento).



Fonte: Do Autor (2019)

De acordo com os resultados demonstrados no gráfico exposto na Figura 12, todos os *pavers* (padrão e com incorporação concomitante do lodo têxtil e resíduo de cerâmica vermelha, em todas as concentrações propostas) são aprovados no ensaio de resistência à abrasão, pois apresentam cavidade inferior a 23 mm, que corresponde à resistência à abrasão mínima exigida pela norma NBR 9781.

8 CONCLUSÕES

Para o presente trabalho, foram testados *pavers* com substituição concomitante dos resíduos de lodo têxtil e cerâmica vermelha em porcentagens de 0, 5, 10, 15 e 20% (em relação à massa do cimento).

Pavers padrão com resistência à compressão da ordem de 80 MPa foram obtidos já aos 7 dias de idade com CPV-ARI. Além do padrão, apenas o traço com 5% de substituição para produção de *pavers* utilizados em tráfego de pedestres e veículos leves; com isso, os demais traços confeccionados servem apenas para usos menos nobres estruturalmente. Já no teste de abrasão, todos os traços estudados foram aprovados. A cor foi mantida inalterada para todos os *pavers*.

Diante disso, assim como proposto, o presente trabalho mostra uma possibilidade de utilizar o concreto para fabricação de *pavers* dependendo de sua aplicação e necessidade de resistência, mesmo assim, pode ser considerado uma destinação correta e sustentável para o lodo têxtil e o resíduo de cerâmica vermelha.

Por fim, para trabalhos futuros fica a sugestão de testar novas porcentagens de incorporação desses resíduos com outros por exemplo, escória de cobre, cinza de algaroba, cinza de casca de arroz, dentre outros, com o intuito de determinar a quantidade máxima dessa combinação de resíduos escolhidos sem comprometer sua resistência mínima de 35 MPa.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 23: Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 45: Agregados - determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 49: Agregado miúdo - Determinação de impurezas orgânicas, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6467: Agregados - Determinação do inchamento de agregado miúdo - Método de ensaio, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9776: Agregados - determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco chapman - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11579: Cimento Portland - Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 μm (nº 200), 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: Cimento Portland - Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 μm (nº 200), 2013.
- ALCANTARA, P. S. X. **Blocos intertravados coloridos para pavimentação com incorporação de resíduos de cerâmica vermelha em prol da redução de pigmentos.** 2015. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Pernambuco. Caruaru.
- AVELAR, N. V. **Potencial dos resíduos sólidos da indústria têxtil para fins energéticos.** 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade Federal de Viçosa, 2012.
- AQUINO, R. C. *et al.* **Adição de Resíduo de lodo da indústria têxtil na produção de blocos cerâmicos de vedação.** Revista Eletrônica de Materiais e Processos.
- FERNANDES, I. **Blocos e Pavers.** Produção e Controle de Qualidade. São Paulo. 2013.

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, PB. 2014.

ANICER (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA). A Cerâmica Vermelha no Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. Cerâmica Vermelha, 2016. Disponível em <<http://abceram.org.br/ceramica-vermelha/>>.

ESTADÃO. **Agreste tem 2º maior polo têxtil do país.** 2013. Disponível em: <<http://www.estadao.com.br/noticias/impresso,agreste-tem-2-maior-polo-textil-do-pais,981078,0.htm>>.

SOLUÇÕES PARA CIDADES E ABCP (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND). Manual de Pavimento Intertravado – Passeio Público. 2010.

LELOUP, W. A. **Efeito da adição de lodo têxtil e cinzas de lenha gerados no APL de confecções pernambucano em argamassas de cimento Portland.** 2013. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Pernambuco. Caruaru.

PRIM, E. C. C. **Reaproveitamento de lodo têxtil e da cinza pesada na construção civil: aspectos tecnológicos e ambientais.** 1998. Dissertação (mestrado), PPEA/UFSC, Florianópolis, SC. 1998.

HEREK, L. C. S. *et al.* **Incorporação de lodo de lavanderia industrial na fabricação de tijolos cerâmicos.** CERÂMICA 55. CTC-DEQ, Universidade Estadual de Maringá. Maringá, PR. 2009.

JÚNIOR, M. L. D. **Incorporação de lodo de lavanderia industrial têxtil em blocos cerâmicos para aplicação na construção civil.** 2013. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso Superior de Tecnologia em Processos Químicos - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Apucarana, 2013.

MOREIRA, A. H. *et al.* **Efeito da adição do lodo de águas residuais da indústria têxtil nas propriedades de materiais de construção.** CERÂMICA 47. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE. 2001.

HOKAZONO, S. S. *et al.* **Estudo do uso do lodo de indústria têxtil como agregado ao concreto para análise de resistência.** VIII EPCC – Encontro Nacional de Produção Científica. 2