



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

AILTON SERAFIM DA SILVA

ANTONIO ANGELO WEIS

**ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS CERÂMICOS PROVENIENTES
DA RETÍFICA DA EMPRESA CEJATEL COMO AGREGADOS NA FABRICAÇÃO
INDUSTRIALIZADA DE PAVER**

Tubarão

2021

**AILTON SERAFIM DA SILVA
ANTONIO ANGELO WEIS**

**ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS CERÂMICOS PROVENIENTES
DA RETÍFICA DA EMPRESA CEJATEL COMO AGREGADOS NA FABRICAÇÃO
INDUSTRIALIZADA DE PAVER**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientadora: Profa. Ms. Lucimara Aparecida Schambeck Andrade.

Tubarão
2021

AILTON SERAFIM DA SILVA
ANTONIO ANGELO WEIS

**ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS CERÂMICOS PROVENIENTES
DA RETÍFICA DA EMPRESA CEJATEL COMO AGREGADOS NA FABRICAÇÃO
INDUSTRIALIZADA DE PAVER**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 01 de dezembro de 2021.



Professora Ms. e orientadora Lucimara Aparecida Schambeck Andrade
Universidade do Sul de Santa Catarina



Prof. Esp. Maurício Alberto Büchele Motta
Universidade do Sul de Santa Catarina



Eng. Evanor Pacífico Filho
Maximize Engenharia e Serviços

Dedica-se este trabalho a todos os familiares e amigos dos referentes autores.

AGRADECIMENTOS AILTON

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, por me dar forças na caminhada da vida e principalmente ao longo desta graduação, por me fazer acreditar na minha capacidade e nunca ter me deixado desistir em momento algum dos meus sonhos.

A minha família, principalmente meus pais, Ailton e Jatênia, por todo o amor, carinho e apoio nas horas mais difíceis e porque em nenhum momento deixaram de acreditar em mim, sempre me ajudando e incentivando a ser uma pessoa melhor. Obrigado por tudo, obrigado por tudo, amo vocês.

Ao meu irmão, Arthur, obrigado por estar ao meu lado retirando toda a pressão com suas brincadeiras e por tudo que fez por mim nesses anos todos, por cada luta vencida e risadas dadas, sou grato por ser seu irmão mais velho, obrigado.

Aos meus amigos de curso e de vida, que certamente irei levar para sempre no coração: Bruno Volpato, Otávio Patrício, Lucas Buss e Isabela Mazzucco. Agradeço vocês por todo apoio e incentivo e ajuda durante toda essa caminhada.

Meus sinceros agradecimentos ao meu querido amigo e parceiro de pesquisa, Antonio Angelo Weis, que se empenhou e sempre esteve comprometido com o desenvolvimento deste trabalho, por toda a confiança depositada em mim. Além disso, muito obrigado por toda a ajuda durante o curso, nos momentos bons ou ruins.

A nossa querida orientadora Lucimara Aparecida Schambeck Andrade, por toda ajuda, apoio e conhecimento transmitido para o desenvolvimento deste trabalho, agradecemos por sempre nos atender tão bem e sempre estar disponível para nos auxiliar da melhor maneira possível.

Agradeço ao professor Maurício Alberto Büchele Motta, por todos os ensinamentos repassados durante o curso e por aceitar fazer parte da banca avaliadora deste trabalho.

Agradeço também ao meu grande amigo, Evanor Pacífico Filho, por aceitar participar da banca avaliadora deste trabalho e por todo o ensinamento técnico de engenharia transmitidos a mim e todo o apoio dado durante a minha formação profissional.

Gostaria de agradecer o pessoal do Laboratório de Engenharia Civil da Unisul, Pedro Antônio Pimentel e Laisy Meurer Perin, por toda a ajuda necessária para o desenvolvimento dos ensaios em laboratório e pelo profissionalismo.

Gostaria de agradecer também as empresas Artecon e Cejatel, ambas nos abriram suas portas e nos acolheram de braços abertos, nos auxiliando com o fornecimento de material e nos ensinando o princípio dos processos de fabricação, além de ceder seu espaço para que pudéssemos produzir os materiais estudados nesse trabalho. Muito obrigado.

AGRADECIMENTOS ANTONIO

Primeiramente quero agradecer meus pais, Daniel Guilherme Weis e Juciana Delfino, minhas maiores referências de esforço e dedicação, por todos os ensinamentos e incentivos, sempre me mostrando como melhorar. Obrigado por tudo, eu os amo muito.

A minha namorada, Isabela, por estar sempre ao meu lado, me apoiando e incentivando sempre que preciso, sou muito agradecido por ter você em minha vida, te amo.

Aos meus amigos de curso, Bruno Volpato da Silva, Caio Tramontin Volpato, João Vitor Gomes Fernandes, Muriel de Bona Porton Guarezi e Otavio Patrício Mateus Junior. Juntos passamos por muita coisa, sempre um auxiliando o outro. Agradeço a todos pelo apoio.

Ao meu amigo e parceiro de trabalho, Ailton Serafim, por todo o comprometimento e dedicação com o trabalho. Obrigado por ter depositado sua confiança e me escolhido como dupla. Tenho certeza de que irá realizar todos os seus objetivos, pois tudo o que você faz é sempre com muita competência.

À professora Lucimara Schambeck, por todo o conhecimento que nos foi passado ao longo do curso, por ter aceitado ser nossa orientadora e nos auxiliado na realização deste trabalho, muito obrigado.

Ao professor Mauricio Alberto Büchele Motta, por ter aceitado fazer parte da banca avaliadora e por todo o conhecimento passado durante o curso.

Ao engenheiro Evanor Pacífico Filho, por ter aceitado fazer parte da banca avaliadora e por todo o esclarecimento de dúvidas e auxílio com o trabalho.

Às empresas Artecon, Cejatel, Confer e Setep pelo fornecimento dos materiais utilizados no presente estudo.

Ao pessoal do Laboratório de Engenharia Civil da Unisul, Laisy Meurer Perin e Pedro Antônio Pimentel, pelo auxílio no desenvolvimento do trabalho.

“Podemos julgar nosso progresso pela coragem de nossas perguntas e pela profundidade de nossas respostas, nossa disposição de abraçar o que é verdadeiro em vez do que é bom.” (Carl Segan).

RESUMO

Com o intuito de reaproveitar os resíduos cerâmicos provenientes de obras e descartes de indústrias, o presente trabalho procura estudar a viabilidade na adição desse resíduo como agregado fino em diferentes teores na fabricação de pavers. Esse material é usualmente descartado pelas empresas e utilizado como aterro para recuperação de áreas topograficamente irregulares. Para caracterização dos materiais, foram realizados ensaios com os agregados utilizados na confecção dos pavers e no material cerâmico que seria acrescentado no traço definido para produção. Os traços utilizados foram: 0%, 5%, 10%, 15% e 20% de acréscimo de resíduo cerâmico. Este acréscimo seria referente à quantidade de agregados totais presente no traço para produção dos pavers. Para os materiais utilizados na confecção nos pavers com adição de resíduo cerâmico, foram realizados os ensaios de massa específica, absorção, índice de vazios, índice de matéria orgânica e teor de material pulverulento, conforme descrito nas normas vigentes para cada ensaio. Após a confecção dos pavers, foram realizados os ensaios de compressão axial e os resultados apontaram a viabilidade da incorporação de resíduo cerâmico como agregado nesses traços, sendo o traço de 10% o que possuiu resultados mais positivos. Sendo assim, o reaproveitamento do resíduo cerâmico na produção de pavers pode promover uma diminuição de custos, sem diminuir a qualidade do produto final e contribuir para a diminuição na quantidade de material cerâmico descartada no meio ambiente.

Palavras-chave: Resíduo Cerâmico. Paver. Agregado.

ABSTRACT

In order to reuse ceramic residues from constructions and industrial disposals, this work intends to study the viability of adding this residue as fine aggregate at different levels in the manufacture of pavers. This material is usually discarded by companies and used as a landfill to recover topographically irregular areas. In order to characterize the materials, tests were carried out with the aggregates used in making the pavers and the ceramic material that would be added in the cement mix defined for production. The cement mixes used were: 0%, 5%, 10%, 15%, 20% increase of ceramic waste. This increase would refer to the amount of total aggregates present in the trace for the production of pavers. For the materials used in the confection of pavers with addition of ceramic waste were carried out tests of specific mass, absorption, void index, organic matter index and powdery material content, as described in the current standards for each test. After making the pavers, the axial compression tests were carried out, and their results showed the viability of incorporating ceramic waste as an aggregate in these cement mix, with the 10% cement mix having the most positive results. Thus, the reuse of ceramic waste in the production of pavers can reduce costs without reducing the quality of the final product, contribute to the decrease in the amount of ceramic material discarded into the environment.

Keywords: Ceramic Residue. Paver. Aggregate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura típica de um pavimento intertravado.....	25
Figura 2 - Peneiras utilizadas para ensaio	32
Figura 3 - Materiais para ensaio de índice de vazios.....	33
Figura 4 - Ensaio de índice de matéria orgânica em agregados	34
Figura 5 - Ensaio de índice de matéria orgânica	38
Figura 6 - Lavagem do agregado para retirada do material pulverulento	39
Figura 7 - Ensaio de índice de matéria orgânica	41
Figura 8 - Lavagem do agregado para retirada do material pulverulento	42
Figura 9 - Ensaio de índice de matéria orgânica	44
Figura 10 - Lavagem do agregado para retirada do material pulverulento	45
Figura 11- Box para armazenagem dos agregados.....	49
Figura 12 - Inserção do Cimento pelo método de bag suspenso	50
Figura 13 - Reservatório de água.....	51
Figura 14 - Esteira de transporte do concreto.....	52
Figura 15 - Prensa vibratória para fabricação de pavers	53
Figura 16 - Processo final da produção	54
Figura 17 - Processo de estocagem dos pavers durante a cura.....	55
Figura 18 - Recipientes com resíduo cerâmico	56
Figura 19 - Local para adição do resíduo na mistura	57
Figura 20 - Pavers inseridos na estufa para secagem	58
Figura 21 - Ensaio de resistência à compressão dos pavers	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dimensões das peças de concreto.....	26
Tabela 2 – Resistência característica à compressão	27
Tabela 3 – Critérios para resistência à abrasão.....	27
Tabela 4 – Quantidade de amostras para ensaios	27
Tabela 5 – Características físicas e químicas do cimento	35
Tabela 6 – Composição do cimento	36
Tabela 7 - Massa específica e absorção do Pó de Pedra Britada Basáltica	37
Tabela 8 - Granulometria do Pó de Pedra Britada Basáltica	37
Tabela 9 - Índice de Vazios	37
Tabela 10 - Índice de matéria orgânica	38
Tabela 11 - Teor de material pulverulento	38
Tabela 12 - Massa específica e absorção do pó de pedra basalto.....	39
Tabela 13 - Granulometria do Pó de Pedra Britada Granítica.....	40
Tabela 14 - Índice de Vazios	40
Tabela 15 - Índice de matéria orgânica	40
Tabela 16 - Teor de material pulverulento	41
Tabela 17 - Massa específica e absorção da areia fina.....	43
Tabela 18 - Granulometria do agregado miúdo.....	43
Tabela 19 - Índice de Vazios	43
Tabela 20 - Índice de matéria orgânica	44
Tabela 21 - Teor de material pulverulento	44
Tabela 22 - Granulometria do Resíduo Cerâmico	46
Tabela 23 - Índice de Vazios	46
Tabela 24 - Massa específica.....	46
Tabela 25 - Parâmetros do aditivo	47
Tabela 26 - Traços desenvolvidos para produção dos pavers	48
Tabela 27 - Dimensões dos pavers estudados	60
Tabela 28 - Comparação dos resultados do ensaio de absorção.....	61
Tabela 29 - Absorção média dos pavers estudados	61
Tabela 30- Densidade de cada amostra estudada	62

Tabela 31 - Densidade média dos pavers estudados.....	62
Tabela 32 - Determinação da resistência a compressão dos pavers	63
Tabela 33 - Resistência média a compressão axial dos pavers estudados.....	63
Tabela 34 - Resistência característica à compressão dos pavers estudados	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Principais componentes da argila e suas propriedades	20
Quadro 2 – Classificação da forma de partículas	23
Quadro 3 – Formatos para peças de concreto	26

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	JUSTIFICATIVA	17
1.2	OBJETIVOS	18
1.2.1	Objetivo geral	18
1.2.2	Objetivos específicos	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	CIMENTO PORTLAND	19
2.2	MATERIAL CERÂMICO	19
2.3	CONCRETO	21
2.4	RESÍDUOS CERÂMICOS NA PRODUÇÃO DE CONCRETO	22
2.5	PAVER	24
2.5.1	Definição.....	24
2.5.2	Normas técnicas vigentes	25
2.5.3	Processos de fabricação	28
2.5.3.1	Processo prensado	28
2.5.3.2	Processo dormido	28
2.5.3.3	Processo batido	29
3	MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1	MÉTODOS	30
3.1.1	Massa específica e absorção	30
3.1.2	Granulometria	31
3.1.3	Índice de vazios.....	32
3.1.4	Índice de matéria orgânica	33
3.1.5	Material pulverulento	34
3.2	MATERIAIS UTILIZADOS	35
3.2.1	Cimento Portland	35
3.2.2	Agregados.....	36
3.2.2.1	Pó de Pedra Britada Basáltica.....	36
3.2.2.2	Pó de Pedra Britada Granítica	39
3.2.2.3	Areia Fina	42

3.2.3	Resíduo cerâmico.....	45
3.2.4	Água.....	47
3.2.5	Aditivo	47
3.3	DEFINIÇÃO DO TRAÇO.....	47
3.4	CONFECÇÃO DOS PAVERS	48
3.4.1	Processo de produção dos pavers com resíduo cerâmico	55
3.4.2	Caracterização dos pavers com adição de resíduos cerâmicos	57
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	60
4.1	ANÁLISE DIMENSIONAL DOS PAVERS	60
4.2	ANÁLISE DO ENSAIO DE ABSORÇÃO DOS PAVERS.....	60
4.3	ANÁLISE DA DENSIDADE DOS PAVERS	61
4.4	ANÁLISE DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DOS PAVERS	62
5	CONCLUSÃO.....	65
6	REFERÊNCIAS.....	67

1 INTRODUÇÃO

A reutilização e a sustentabilidade têm se tornado uma pauta em todo o mundo, sendo um diferencial para as empresas focadas em empregar alguns métodos na prática. Tais pautas estão cada vez mais presentes em diversos tipos de mercados, incluindo o da construção civil, que possui alto emprego de meios de reutilização por possuir uma alta taxa de desperdício de materiais durante a execução das obras. Portanto, tais insumos gerados podem ser usados na produção de diversos componentes e reempregados na própria obra.

Diversos componentes de uma construção são constituídos de material cerâmico, como salienta Dias (2004):

“Os produtos de cerâmica vermelha agrupam, geralmente, os produtos para alvenaria (de vedação e estrutural), para cobertura e para canalizações. Dentre os de alvenaria, estão os tijolos e blocos. Os de cobertura são as telhas. Os tubos ou manilhas são aqueles utilizados para canalizações. Existem também produtos utilizados em lajes nervuradas (chamados lajotas), elementos vazados em alvenarias e algumas cerâmicas rústicas para revestimento de piso e também de paredes (chamados de tijoleiras)”.

Pensando na viabilidade econômica, técnicas para o não esgotamento dos recursos naturais através da reutilização de resíduos gerados da construção civil já são empregadas em alguns países como os Estados Unidos da América, Japão e boa parte da Europa.

Assim como afirma ANGULO, 2005: “A Construção Civil é responsável por um consumo significativo dos recursos naturais extraídos e por uma produção de aproximadamente metade da massa total de resíduos sólidos urbanos”, logo, com uma grande procura de produtos para fabricação dos elementos utilizados na construção civil, o emprego dessa enorme quantidade de resíduos sólidos produzidos pode suprir a falta de matéria-prima.

Como dito por John (2001), “Nenhuma sociedade poderá atingir o desenvolvimento sustentável sem que a construção civil, que lhe dá suporte, passe por profundas transformações”. Sendo assim, a importância de encontrar maneiras de se preservar recursos naturais mantendo um equilíbrio no consumo desses recursos é de suma importância não apenas para o ramo da construção civil, mas para todos de modo geral.

Portanto, garantir a todos esses resíduos um uso, tem seus benefícios, principalmente econômicos, para as empresas que poderão ter seu produto reempregado e do impacto na imagem da empresa no mercado.

1.1 JUSTIFICATIVA

Com o crescente aumento das obras em todo o país com o passar dos anos, a geração de entulho tem acompanhado esse crescimento. Este entulho é comumente utilizado como aterro para recuperação de diversas áreas, sendo elas de alagamento ou topograficamente irregulares, caso contrário, acabam apenas ocupando grandes áreas de depósitos como é o caso dos aterros sanitários, geralmente localizados em áreas muito remotas, encarecendo o transporte de tais resíduos, como salienta AMORIN et al, (1998).

Segundo Mendes (2013), há uma estimativa de que 40% a 75% dos recursos naturais existentes no mundo são consumidos pelo setor da construção civil, gerando uma enorme quantidade de resíduos que não são, em sua maioria, reutilizados. No Brasil, estima-se que este ramo é responsável por gerar cerca de 25% dos resíduos totais da indústria.

Os resíduos gerados no processo de fabricação das telhas são telhas inteiras que não apresentam, após a queima nos fornos, as características exigidas para comercialização e, também, pedaços de telhas (cacos) originados da quebra do material devido à movimentação a que são submetidas (DIAS, 2004). Assim como ocorre na produção das telhas cerâmicas, o mesmo se repete com outras indústrias do setor cerâmico, como na confecção dos tijolos, havendo uma grande produção de resíduos gerados provenientes das perdas durante o processo de produção. Segundo o SEBRAE (2008), essas perdas representam, em média, 14% de toda a produção, totalizando 3 milhões de blocos rejeitados por ano.

O processo de fabricação dos produtos de cerâmica vermelha pode ser estruturado basicamente em seis etapas: 1. Extração da matéria-prima (argila); 2. Preparação da matéria-prima; 3. Moldagem ou conformação das peças; 4. Secagem das peças; 5. Queima ou cozimento das peças; e 6. Resfriamento das peças. O produto obtido desse processo é denominado de produto cerâmico ou genericamente de cerâmica (SANTOS, 2001).

Vazquez (2001) diz que

Torna-se imprescindível o uso mais racional dos recursos tais como energia e as matérias-primas naturais, bem como a implantação de uma gestão de resíduos mais lógica. A indústria da construção origina uma enorme corrente de resíduos dos processos de demolição e construção, e usa e abusa das matérias primas naturais como os agregados.

Portanto, a reutilização desses materiais contribui para desocupação dessas áreas, reduzindo a necessidade da ocupação dos aterros sanitários que poderiam receber resíduos sem

reutilização, além de evitar a criação de tantos outros, promovendo a preservação de diversas áreas.

A enorme quantidade de material gerado pode ser usado para inúmeros estudos, encontrando outras formas de serem utilizados, solidificando a importância de se reutilizar materiais como este para a preservação do meio ambiente e transmitindo essa compreensão para mais profissionais da construção civil.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O trabalho apresentado tem como objetivo verificar a eficácia e possível aplicação do uso de resíduos da refinação de cerâmicas para fabricação de paver, adicionando porcentagens relacionadas ao total de agregados presentes na produção.

1.2.2 Objetivos específicos

- Levantar e analisar as principais referências teóricas relacionadas a paver e resíduos cerâmicos;
- Levantar as principais referências teóricas relacionadas à utilização de resíduos cerâmicos;
- Realizar a caracterização das propriedades físicas do resíduo cerâmico;
- Aplicar diferentes dosagens de resíduos na confecção dos pavers para obtenção de resultados que possibilitem a avaliação das propriedades físicas e mecânicas;
- Investigar e verificar a aplicabilidade dos resíduos cerâmicos na produção de pavers;
- Construir modelos gráficos para apresentação dos dados obtidos com o estudo dos materiais escolhidos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CIMENTO PORTLAND

O concreto de cimento Portland é o mais importante material estrutural e de construção civil da atualidade. Mesmo sendo o mais recente dos materiais de construção de estruturas, pode ser considerado como uma das descobertas mais interessantes da história do desenvolvimento da humanidade e sua qualidade de vida (Helene et al, 2007).

O processo de produção do cimento foi aperfeiçoado ao passar dos tempos, assim como explica Shimada (1999):

O cimento Portland é fabricado a partir de uma mistura de rocha carbonática e argila. Essa mistura, finamente moída, é submetida ao forno em temperaturas que chegam próximas de 1450° C. O processo envolve calcinação, sinterização e paletização, no qual reações químicas transformam os minerais das matérias-primas em outros, dando origem ao clínquer Portland. O cimento é então obtido através da moagem do clínquer com aditivos como gesso, escória siderúrgica, pozolanas e o próprio calcário.

Quando o clínquer é colocado em contato com a água, ocorrem diversas reações químicas, dando origem a numerosas fases hidratadas. Os principais produtos da hidratação do cimento Portland são: silicato de cálcio hidratado [Tobermorita C-S-H], hidróxido de cálcio [Portlandita Ca (OH)₂] e sulfoaluminatos de cálcio hidratados [Etringita]. (SENEFF et al, 2005)

Ainda salienta SENEFF et al (2005) que “diversos fatores podem alterar a velocidade de hidratação do cimento Portland, incluindo a finura do clínquer, composição química e quantidade de água envolvida na mistura.”

2.2 MATERIAL CERÂMICO

O barro é um dos materiais mais utilizados pelo homem, sendo de grande importância para sua sobrevivência e desenvolvimento, proporcionando a criação desde recipientes até casas. Embora seja um material muito antigo conhecido pelo homem, sua utilização ainda se faz muito necessária, pois ele ainda é muito presente no âmbito construtivo, constituindo grande parte de nossas moradias ainda hoje.

A indústria cerâmica é responsável pela utilização da argila para confecção de diversos produtos como os tijolos e telhas cerâmicas. Embora os métodos para sua produção tenham

evoluído muito, o desperdício é uma constante nesse processo. Portanto, o aperfeiçoamento desses métodos, além da reutilização desses resíduos, trará benefícios tanto ao mercado quanto ao meio ambiente.

A argila utilizada na criação desses produtos é um material heterogêneo. Assim como é dito por SESMA (2014), a composição química de uma argila pode variar muito, dependendo da região de extração. Com isso, a análise de composição química é imprescindível para entender o comportamento do material.

O quadro abaixo apresenta os principais componentes da argila e suas propriedades.

Quadro 1 – Principais componentes da argila e suas propriedades

Componentes	Propriedades
Sílica livre	Diminui a retração durante os processos de sazonalidade e queima; reduz a plasticidade da argila.
Alumina	Propicia estabilidade dimensional em temperaturas elevadas.
Óxido de Ferro	Junto com o argilomineral caulinita, é responsável pela cor vermelha; reduz a propriedade refratária.
Carbonato e sulfato de cálcio e magnésio	Resultam em expansão volumétrica; agem como fundentes.
Álcalis	Baixam o ponto de fusão e reduzem a porosidade, o teor de álcalis é da ordem de 10%.
Cálcio	Age como fundente
Silicatos e Fosfatos	São fundentes, alguns aumentam a resistência da cerâmica.
Sais solúveis	Provocam a eflorescência no material cerâmico
Matéria orgânica	Resulta em retração, fissuras durante os processos de sazonalidade e queima e diferenças de coloração em um mesmo componente cerâmico.

Fonte: SESMA (2014).

2.3 CONCRETO

O concreto, atualmente, é um importante material muito utilizado pela construção civil, devido a sua composição básica e propriedades. Podemos ressaltar seu importante papel na evolução das estruturas criadas atualmente, como afirma Helene e Andrade (2007): “O concreto de cimento Portland é o mais importante material estrutural e de construção civil da atualidade. Mesmo sendo o mais recente dos materiais de construção de estruturas, pode ser considerado como uma das descobertas mais interessantes da história do desenvolvimento da humanidade e sua qualidade de vida.”

Para Mehta e Monteiro (2014), o concreto é um dos produtos mais utilizados por toda a humanidade. Apesar de não ser tão resistente quanto o aço, ainda é o material mais utilizado no meio da construção civil. Para esse amplo uso, podemos destacar como motivos sua maior resistência à ação da água e a facilidade na obtenção de elementos estruturais de diversas formas e tamanhos. Além dos motivos técnicos, possui também motivos econômicos para seu uso, como o baixo custo e fácil disponibilidade do material (Costa, 2017).

De acordo com a NBR 12655 (ABNT, 2006), o concreto pode ser caracterizado como sendo um material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdo e graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários como aditivos químicos, metacaulim e sílica ativa, que desenvolvem suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento.

A respeito da microestrutura que forma o concreto, Costa (2017) diz que a despeito da simplicidade da tecnologia da produção de concreto, a microestrutura do produto é altamente complexa. E comparada a outros materiais de construção como aço, plásticos e cerâmicas, a microestrutura do concreto não é uma propriedade estática do material. Isso se deve ao fato de que dois dos três componentes da microestrutura, denominada matriz da pasta de cimento e zona de transição na interface entre agregado e pasta de cimento, mudam com o tempo.

Referente a sua dosagem, o tipo de concreto a ser produzido é a principal decisão nesse momento, pois cada caso necessita de um tipo específico a ser aplicado na construção de uma edificação, entre outros tipos de obra. Sendo assim, o projetista deve especificar a mínima resistência à compressão exigida para o projeto, seguindo as especificações das normas técnicas referentes.

Ainda sobre sua dosagem, Tutikian e Helene (2011) salientam que a resistência mecânica do concreto é o parâmetro mais frequentemente especificado. A resistência à

compressão é a mais utilizada, embora a resistência à tração por flexão também seja muito comum em projetos de pavimentos de concreto. A resistência à compressão dos concretos tem sido tradicionalmente utilizada como parâmetro principal de dosagem e controle da qualidade dos concretos destinados a obras correntes.

2.4 RESÍDUOS CERÂMICOS NA PRODUÇÃO DE CONCRETO

Corominas et al; (2015) analisaram o efeito de vários tipos de agregados reciclados adotando blendas compostas por 22,2% de concreto, 9,8% de resíduos de construção em geral e 67,3% de resíduos de cerâmica. Para verificação da durabilidade, os ensaios adotados neste estudo foram ataque por cloretos, conforme ASTM C1202: *Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration* e absorção por permeabilidade capilar, segundo o método preconizado por SIA 162/1: *Swiss Standard – Succión Capilar*. Ao final, os autores concluíram que substituições de até 50% de agregado graúdo pelo reciclado não prejudicaram a durabilidade. Observam, no entanto, que os concretos contendo cerâmica como agregado miúdo, com teores de até 30%, alcançaram maior resistência à compressão, maior resistência à penetração de íons cloreto e melhores resultados nas propriedades de durabilidade em idades mais avançadas.

A incorporação desses resíduos pode resultar na melhora da aderência entre pasta/agregado, como é dito por Leite (2001), o agregado reciclado apresenta maior rugosidade, o que contribui para melhorar a aderência; granulometria mais contínua e maior quantidade de finos, que diminuem a segregação, ajudam no efeito de empacotamento e contribuem para o fechamento dos vazios. Como o agregado reciclado também possui maior absorção, pode haver, ainda, maior aderência entre a pasta e o agregado através da absorção da pasta e precipitação dos cristais de hidratação nos poros do agregado.

O Quadro a seguir apresenta a classificação da forma de partículas dos agregados.

Quadro 2 – Classificação da forma de partículas

Classificação	Descrição	Exemplos
Arredondado	Completamente erodido por água ou por atrito.	Seixos de rio ou de praia; areias de rio, de praia e areias transportadas pelo vento.
Irregular	Irregularmente naturais ou parcialmente modificadas pelo atrito, com arestas arredondadas.	Outros seixos, como de cava.
Lamelar	Material em que a espessura é pequena em relação às demais dimensões.	Rocha lamelar.
Anguloso	Com arestas bem definidas formadas na interseção de faces aproximadamente planas.	Pedras britadas de todos os tipos; escória britada, talus.
Alongado	Material, geralmente anguloso, em que uma das dimensões é bem maior que as demais.	
Lamelar e Alongado	Material que tem o comprimento bem maior do que a largura e está bem maior que a espessura.	

Fonte: FONSECA (2006).

A substituição de 50% do agregado natural por agregado graúdo de telha cerâmica possui uma resistência aproximada ao concreto convencional, como é constatado por FONSECA (2006), sendo que aos 28 dias foram obtidos, com um traço rico e consumo de 487 kg/m³, a resistência de 30 MPa; para o traço normal e consumo de 367 kg/m³, 26 MPa; para o traço pobre, com o consumo de 283 kg/m³, uma resistência à compressão de 18,5 MPa.

Ainda de acordo com Fonseca (2006), conclui-se que a substituição do agregado graúdo natural pelo reciclado não inviabiliza a produção do concreto, mas exige o conhecimento da absorção e do comportamento à sucção de água com o tempo, para se estimar a água de mistura que atenda a maior absorção do agregado reciclado.

Como observado por Passos (2020), a utilização dos resíduos provenientes de cerâmica vermelha na produção de concretos para fins estruturais pode contribuir para mitigar os impactos ambientais e aumentar o nível de ações sustentáveis aplicadas na construção civil, em especial, devido à possibilidade de escassez de agregados naturais em grandes centros.

Contrapondo, observa-se regiões que se caracterizam como grandes produtoras de resíduos de construção e demolição (RCD) com descarte desgovernado em aterros, comprometendo, assim, a qualidade de vida.

2.5 PAVER

2.5.1 Definição

Como descrito na NBR 9781 (ABNT, 2013), as peças de concreto para pavimentação ou paver, como são popularmente chamadas, são peças de concreto pré-moldadas tendo como principal função a sua utilização para construção de pavimentos ou calçadas pelo método do intertravamento.

O intertravamento é um método que consiste na capacidade de blocos se manterem no lugar, sem que sejam deslocados horizontalmente, verticalmente ou rotacionados. Esta propriedade é adquirida quando todas as peças são assentadas de maneira correta, sendo assim, o intertravamento adequado influenciará na durabilidade e desempenho do pavimento (ABCP, 2010).

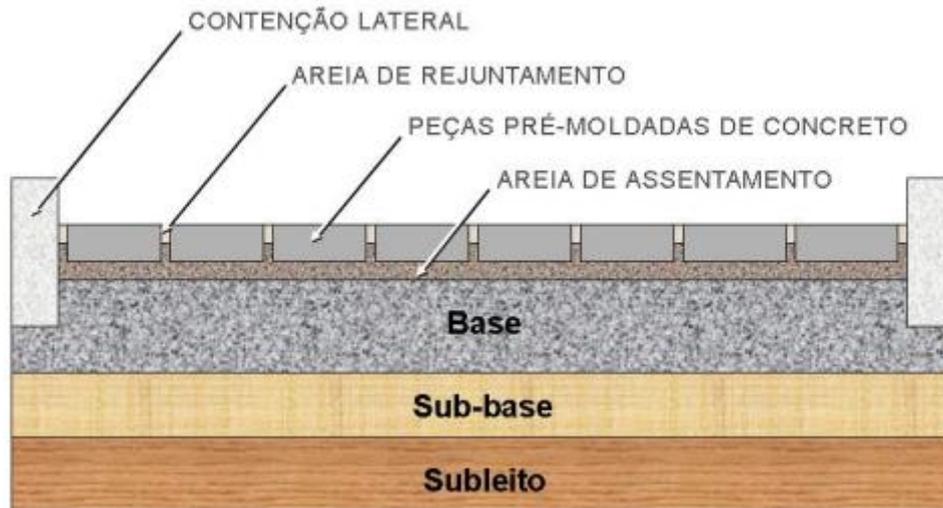
Ainda sobre intertravamento, Fernandes (2019) comenta que o conceito básico desse tipo de pavimentação é o intertravamento, sendo a transmissão da parte da carga de uma peça para a outra através do atrito lateral entre elas. O paver possui sua camada superficial mais acabada, gerando conforto e possibilitando o trânsito de pedestres e, também, permite suportar o trânsito de veículos de porte leve e pesado, dependendo apenas da sua categoria e resistência. Outra característica presente nesse tipo de sistema é a pequena permeabilidade devido às juntas entre as peças permitirem a passagem de certas quantidades de água para o solo.

De acordo com Fernandes (2019), algumas das propriedades que diferenciam os pavers de outros materiais para construção de pavimentos são relacionados à técnica de assentamento, que permite que o pavimento seja desmanchado e refeito com 100% de aproveitamento das peças. Devido a ser mais claro que o asfalto, o paver possui uma menor absorção de calor proveniente de raios solares, sendo assim, possui maior conforto térmico superficial.

Para a aplicação dos pavers, as camadas que constituem sua base são separadas entre camada de assentamento, base, sub-base e subleito. Como mostrado na figura 1 abaixo, a camada superficial é composta pelas peças pré-moldadas com durabilidade e resistência adequadas para a situação necessária e assentadas sobre uma camada de areia. Como

mencionado anteriormente, as peças devem ser capazes de resistir às tensões e cargas geradas pelo tráfego no local, assegurando que a camada base não sofra desgaste por abrasão (HALLACK, 1998; ABCP, 1999).

Figura 1 - Estrutura típica de um pavimento intertravado



Fonte: HALLACK, 1998.

2.5.2 Normas técnicas vigentes

A NBR 9781 (ABNT, 2013) prevê uma série de especificações a serem atendidas na fabricação e controle de qualidade dos pavers. A primeira delas é relacionada aos materiais para sua fabricação, os quais devem seguir as normas relacionadas e listadas na normativa dos pavers.

O Quadro 3 apresenta os formatos para peças de concreto, conforme a NBR 9781 (ABNT, 2013)

Quadro 3 – Formatos para peças de concreto

TIPO 1	Peças de concreto com formato próximo ao retangular, com relação comprimento/largura igual a dois, que se arranjam entre si nos quatro lados e podem ser assentadas em fileiras ou em espinha de peixe.
TIPO 2	Peças de concreto com formato único, diferente do retangular e que só podem ser assentadas em fileiras.
TIPO 3	Peças de concreto com formatos geométricos característicos, como trapézios, hexágonos, triedros etc., com peso superior a 4 kg.
TIPO 4	Conjunto de peças de concreto de diferentes tamanhos, ou uma única peça com juntas falsas, que podem ser utilizadas com um ou mais padrões de assentamento.

Fonte: NBR 9781 (ABNT, 2013).

O próximo requisito a ser seguido está relacionado as suas dimensões, formatos e resistência e absorção, por sua vez listados abaixo em formato de tabelas.

Tabela 1 – Dimensões das peças de concreto

Peça	Dimensões (mm)	Tolerância (mm)
Comprimento	≤ 250	± 3
Espessura	≥ 60	± 3
Largura	≥ 97	± 3
Chanfro	≥ 3	≤ 6
Ângulo	90°	

OBS: Espessura especificada em múltiplos de 20 mm.

Fonte: NBR 9781 (ABNT, 2013).

Relacionado à absorção, as peças devem demonstrar uma absorção média menor ou igual a 6%, podendo apresentar uma absorção individual para cada peça de no máximo 7%.

Tabela 2 – Resistência característica à compressão

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

Obs: Os lotes de peças de concreto entregues ao cliente com idade inferior a 28 dias devem apresentar no mínimo 80% do f_{pk} especificado na tabela 2.

Fonte: NBR 9781 (ABNT, 2013).

Tabela 3 – Critérios para resistência à abrasão

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

Fonte: NBR 9781 (ABNT, 2013).

Tabela 4 – Quantidade de amostras para ensaios

Propriedade	Amostra
Inspeção visual	6 ^a
Avaliação dimensional	6 ^a
Absorção de água	3
Resistência à compressão	6
Resistência à abrasão	3 ^b

a – As peças amostradas podem também ser utilizadas para os ensaios de resistência à compressão e abrasão.

b – Ensaio facultativo.

Fonte: NBR 9781 (ABNT, 2013).

2.5.3 Processos de fabricação

2.5.3.1 Processo prensado

Como cita Fernandes (2019), o processo mais utilizado para fabricação de pavers no mundo é o processo prensado, que traz um melhor desempenho estético e maior produtividade para a fabricação. Para este processo é utilizado um tipo especial de concreto chamado concreto seco e por essa razão é necessário a utilização de agregados mais finos para se ter um melhor acabamento superficial nas peças. Por essas razões, o processo prensado necessita de maior cuidado durante a produção devido à maior possibilidade de patologias, desgaste superficial por abrasão, perda da resistência devido ao controle de umidade e da densidade total da mistura

O sistema prensado ainda apresenta algumas vantagens a mais, como a grande precisão dimensional das peças e a baixa quantidade de mão de obra para produção. Mas apesar das vantagens, há também um grande desafio na sua utilização. No caso do processo prensado, é a eliminação de vazios da mistura durante a fase de adensamento. Caso não seja feito esse controle, a mistura pode demonstrar problemas relacionados à densidade e, conseqüentemente, na resistência do material final.

2.5.3.2 Processo dormido

O processo de fabricação do paver dormido, segundo Fernandes (2019), consiste na permanência do concreto no molde de um dia para o outro; por isso seu nome. Produzido em moldes de plástico, fibra ou aço, os pavers fabricados nesse processo possuem um acabamento superficial extremamente liso. Também é o método que resulta no menor consumo de cimento comparado aos demais processos de fabricação. Isso é resultado da sua produção em duas partes, onde sua primeira camada é mais fina, podendo ser colorida ou não, com consumo de cimento superior à segunda camada; esta, por sua vez, é mais espessa e constituída em sua maior parte de agregado graúdo e consumo de cimento inferior devido ao seu teor de argamassa mais baixo.

Para sua fabricação é utilizado o concreto plástico, sendo assim, a relação água cimento se torna algo muito importante no controle de qualidade, pois quanto menos água é empregada no processo, maior será a resistência da peça.

Apesar de seus pontos positivos, o paver produzido pelo processo dormido apresenta algumas desvantagens. Devido a sua superfície muito lisa, este paver não é indicado para lugares inclinados. Isso ocorre por sua baixa aderência superficial, ocasionando riscos de escorregamento. Sua produtividade é também um ponto negativo, por ser um processo que demanda tempo para secagem das peças até que possam ser desmoldadas, sendo assim, é necessário um grande espaço para seu assentamento. Também é necessário um maior cuidado, por possuir a parte lateral lisa, os pavers apresentam menor intertravamento, o que gera a necessidade de uma base bem executada (Fernandes, 2019).

2.5.3.3 Processo batido

Também conhecido como paver virado, a fabricação nesses moldes necessita apenas de formas metálicas, um misturador para o concreto e uma mesa vibratória para o adensamento da mistura. O processo consiste na desforma imediata das peças após o adensamento; é necessária uma base firme e plana forrada com material liso e banhada a óleo para não ocorrer a aderência da peça no material. Este método também consome uma menor quantidade de cimento devido à possibilidade de trabalhar com duas camadas do mesmo modo que o processo dormido (Fernandes, 2019).

Os pavers batidos possuem alguns pontos positivos relacionados a sua produção, sendo a baixa quantidade de mão de obra e pouco investimento em ferramentas para produção, se comparado ao processo prensado; também apresentam um bom desempenho quando feitos da maneira correta. Mas há pontos negativos, como a produtividade baixa e problemas na desforma, caso o controle não seja bem empregado (Fernandes, 2019).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MÉTODOS

Após feita a coleta do material residual cerâmico, foram realizados os ensaios descritos abaixo, seguindo as normas previstas na ABNT para a caracterização do referido material. As características dos demais agregados e do cimento utilizado foram cedidos pela empresa que proporcionou a fabricação dos pavers. Os demais dados necessários foram realizados no laboratório de Engenharia Civil da Unisul.

3.1.1 Massa específica e absorção

Para realização dos ensaios, seguiu-se a NBR 16916 (ABNT, 2021), que trata dos procedimentos para obtenção das densidades e absorção de água dos materiais utilizados.

Cálculo da densidade na condição seca

$$Ps = \frac{mA}{V - Va}$$

Onde:

- Ps é a densidade do agregado na condição seca, expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm³);
- mA é a massa da amostra seca em estufa a (105 ± 5) °C, expressa em gramas (g);
- V é o volume do frasco calibrado em centímetros cúbicos (cm³);
- Va é o volume de água adicionada ao frasco, de acordo com a seguinte equação, expresso em centímetros cúbicos (cm³):

$$Va = \frac{mD - mC}{pa}$$

Onde

- mC é a massa do conjunto formado pela massa da amostra na condição saturada superfície seca, mais a massa do frasco, expressa em gramas (g);
- mD é a massa da amostra na condição saturada superfície seca, mais a massa do frasco, mais a massa da água, expressa em gramas (g);

- ρ_a é a densidade da água na temperatura do banho, expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3).

Densidade do agregado na condição saturada superfície seca

$$\rho_{SSS} = \frac{mB}{V - V_a}$$

Onde

- ρ_{SSS} é a densidade do agregado na condição saturada superfície seca, expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3);
- mB é a massa da amostra na condição saturada superfície seca, expressa em gramas (g);
- V é o volume do frasco calibrado em centímetros cúbicos (cm^3);
- V_a é o volume de água adicionada ao frasco, expresso em centímetros cúbicos (cm^3).

Absorção de água

$$Abs = \frac{mB - mA}{mA} \times 100$$

Onde:

- Abs é a absorção de água, expressa em porcentagem (%);
- mA é a massa da amostra seca em estufa a $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$, expressa em gramas (g);
- mB é a massa da amostra na condição saturada superfície seca, expressa em gramas (g).

3.1.2 Granulometria

A granulometria do resíduo cerâmico foi obtida seguindo os passos descritos na NBR NM 248 (ABNT, 2003), com utilização das peneiras 0,075, 0,15, 0,30, 0,60, 1,18, 2,36, 4,75, 6,3 e 9,5 para peneirar 1000 g de material, para a obtenção de sua granulometria. A granulometria é um dos ensaios mais utilizados por empresas para verificação dos materiais, especialmente na produção de pavers e lajotas que necessitam de um controle granulométrico maior para produzir peças com melhor resistência e acabamento. A figura 2 apresenta as peneiras utilizadas no ensaio.

Figura 2 - Peneiras utilizadas para ensaio



Fonte: Autores (2021)

3.1.3 Índice de vazios

Para determinação do índice de vazios, foi necessário encontrar a massa unitária do material compactado e solto, seguindo respectivamente os métodos A e C da NBR 16972 (ABNT, 2021). Após realizados os ensaios, o índice de vazios nos agregados foi calculado seguindo a seguinte equação:

$$Iv = 1 - \frac{\gamma_a}{\gamma_r}$$

- Iv é o índice de vazios nos agregados (%);
- γ_a é a densidade aparente do agregado (g/cm^3);
- γ_r é a densidade real do material (g/cm^3);

Este ensaio é feito utilizando um recipiente de volume e peso conhecidos, uma ferramenta para nivelamento da superfície e uma ferramenta para assentar o material no recipiente, como demonstrado na imagem abaixo.

Figura 3 - Materiais para ensaio de índice de vazios



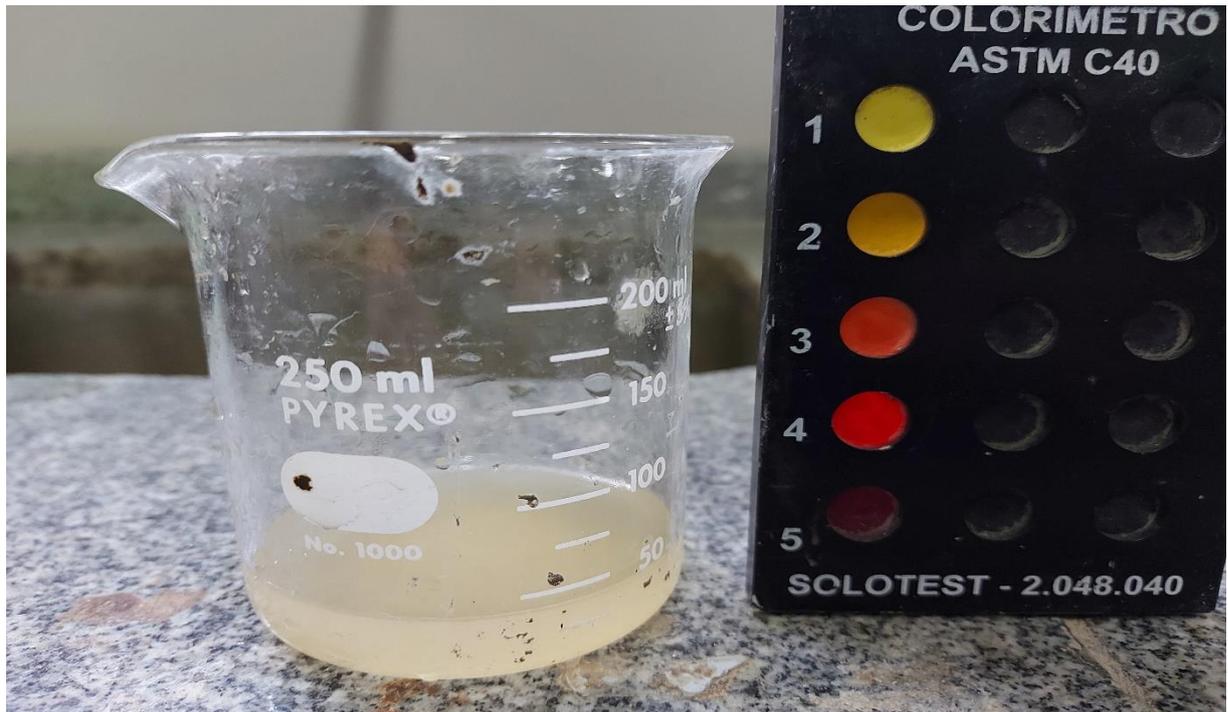
Fonte: autores (2021)

3.1.4 Índice de matéria orgânica

Para realização do ensaio, seguiu-se os procedimentos descritos na NBR NM 49 (ABNT, 2001). Essa análise tem como finalidade avaliar a quantidade de matéria orgânica presente nos agregados, pois estes podem interferir nas reações entre água/cimento, prejudicando sua resistência, durabilidade e tempo de pega.

O ensaio consiste na filtragem do material por meio de filtros descartáveis. Após a filtragem utilizando ácido tânico como solução, aguarda-se 24 horas; após esse período, é comparado o líquido já filtrado presente no recipiente com um calorímetro que marca colorações até 300 ppm, sendo possível, dessa forma, a classificação da quantidade de matéria orgânica do agregado como mostrado na figura abaixo.

Figura 4 - Ensaio de índice de matéria orgânica em agregados



Fonte: Autores (2021)

3.1.5 Material pulverulento

Para que fosse encontrada a quantidade de material pulverulento nos materiais utilizados, seguiu-se a NBR 16973 (ABNT, 2021), que detalha os procedimentos de secagem e lavagem das amostras. Após feita a secagem do material retido na peneira, a porcentagem de material pulverulento é obtida através da equação:

$$m = \frac{m_i - m_f}{m_i} \cdot 100$$

- m é a quantidade de material mais fino que a peneira de 75 μm , por lavagem, expressa em porcentagem (%);
- m_i é a massa inicial da amostra seca, expressa em gramas (g);
- m_f é a massa da amostra seca após a lavagem, expressa em gramas (g).

3.2 MATERIAIS UTILIZADOS

3.2.1 Cimento Portland

O cimento utilizado para confecção dos pavers na empresa foi o Cimento Liz CPV-ARI. Este cimento possui uma secagem extremamente rápida, proporcionando uma alta resistência nas primeiras horas, sendo uma opção viável para utilização na fabricação de artefatos de cimento. Como na situação dos pavers, que comumente são desformados em 24 horas para paletização, para não ocuparem muito espaço, o cimento utilizado deve possuir tais características para que as peças possam ser manuseadas nesse período de tempo.

Este cimento, por sua vez, pode ser encontrado em embalagens ensacadas ou então em bags, que por sua vez facilitam a utilização em centrais de dosagem. Suas características físicas, químicas e os componentes que o formam estão listados abaixo.

Tabela 5 – Características físicas e químicas do cimento

Características físicas e químicas	
Aspecto:	Sólido sob a forma de pó e cor cinza
Odor e limite de odor	Odor característico
pH	Em solução aquosa $12 \leq \text{pH} \leq 14$
Densidade relativa	3,00 g/cm ³
Solubilidade (s)	Até 1,5 g/l à 20° C

Fonte: Empresa de cimentos Liz S.A (2014)

Tabela 6 – Composição do cimento

Composição do Cimento		
Componente	Faixa de concentração (%)	Número CAS
Silicato tricálcico	20-70	12168-85-3
Silicato dicálcico	10-60	10034-77-2
Ferro-aluminato de cálcio	5-15	12068-35-8
Sulfato de cálcio	2-10	Vários
Aluminato tricálcico	1-15	12042-78-3
Carbonato de cálcio	0-5	1317-65-3
Óxido de magnésio	0-4	1309-48-4
Óxido de cálcio	0-0,2	1305-78-8

Fonte: Empresa de cimentos Liz S.A (2014)

3.2.2 Agregados

Segundo a NBR 9935 (2011, p. 6), agregados são um "material granular, geralmente inerte, com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassa ou concreto." Estes devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, duráveis e limpos, não contendo impurezas que possam afetar a hidratação e/ou endurecimento do cimento.

3.2.2.1 Pó de Pedra Britada Basáltica

O pó de pedra utilizado foi fornecido pela empresa Setep e seus dados foram fornecidos pela empresa Artecon, que por sua vez utiliza o material na fabricação de pavers, lajotas, entre outros produtos e cedeu o local para confecção do material.

Suas características físicas, granulometria, índice de vazios, teor de material pulverulento e índice de matéria orgânica foram obtidos em ensaios laboratoriais.

A massa específica e o índice de absorção do material foram obtidos utilizando os métodos preconizados pela NBR 16916 (ABNT, 2021) e estão listados na tabela 7.

Tabela 7 - Massa específica e absorção do Pó de Pedra Britada Basáltica

Massa específica aparente	2,632 g/cm ³
Massa específica na condição SSS	2,622 g/cm ³
Massa específica	2,649 g/cm ³
Absorção	0,400 %

Fonte: autores (2021),

A granulometria do material foi obtida utilizando os métodos preconizados pela NBR NM 248 (ABNT, 2003) e está listado na tabela 8.

Tabela 8 - Granulometria do Pó de Pedra Britada Basáltica

GRANULOMETRIA DO PÓ DE PEDRA BRITADA BASÁLTICA				
Peneiras		Material Retido		
(mm)	(pol.)	Peso (g)	% Retida	% Acumulada
9,50	3/8"	-	-	-
6,30	1/4"	-	-	-
4,80	4	13,70	0,81	0,81
2,40	8	346,90	20,62	21,43
1,20	16	437,50	26,00	47,43
0,60	30	350,20	20,81	68,24
0,30	50	156,40	9,29	77,54
0,15	100	173,30	10,30	87,84
Fundo		204,70	12,16	100,00
Total		1682,70		
Módulo de Finura			3,03	

Fonte: Nazário Engenharia e Consultoria (2021)

O índice de vazios do agregado graúdo foi obtido utilizando os métodos previstos na NBR 16972 (ABNT, 2021).

Tabela 9 - Índice de Vazios

Índice de vazios (%)	8,31%
----------------------	-------

Fonte: Autores (2021),

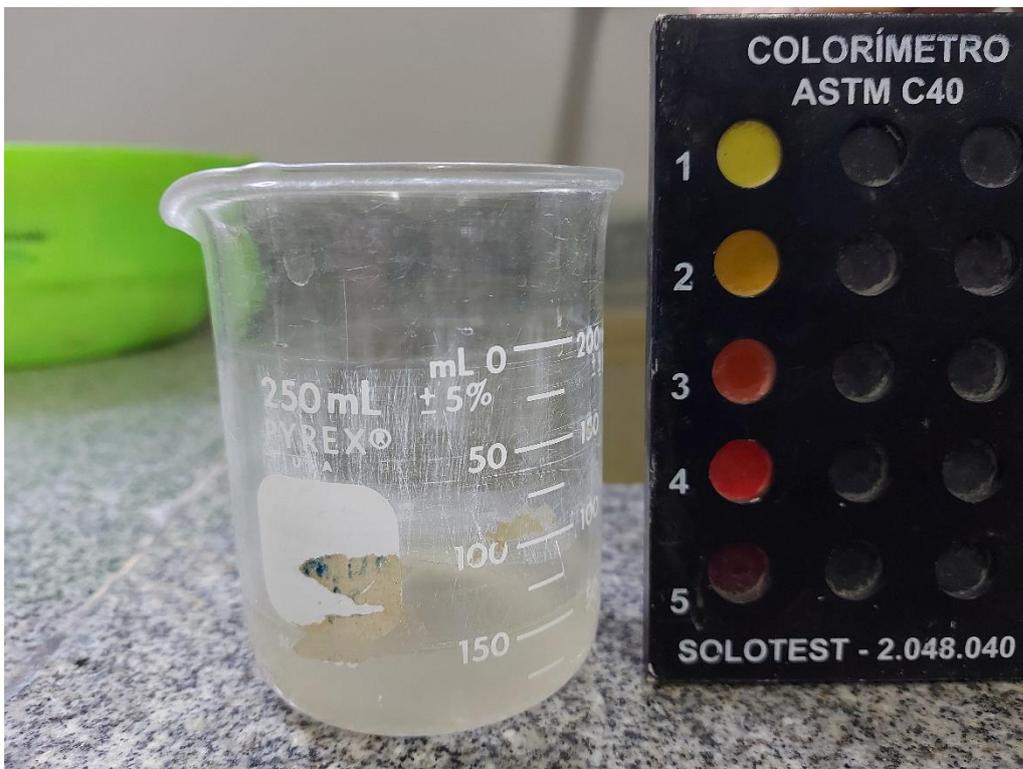
Para o índice de matéria orgânica foi realizado o ensaio seguindo os procedimentos descritos na NBR NM 49 (ABNT, 2001)

Tabela 10 - Índice de matéria orgânica

Índice de matéria orgânica	< 300 ppm
----------------------------	-----------

Fonte: Autores (2021)

Figura 5 - Ensaio de índice de matéria orgânica



Fonte: Autores (2021)

Para que fosse encontrada a quantidade de material pulverulento nos materiais utilizados, seguiu-se a NBR 16973 (ABNT, 2021).

Tabela 11 - Teor de material pulverulento

Material pulverulento (%)	11,56 %
---------------------------	---------

Fonte: Autores (2021)

Figura 6 - Lavagem do agregado para retirada do material pulverulento



Fonte: Autores (2021)

3.2.2.2 Pó de Pedra Britada Granítica

O pó de pedra utilizado foi fornecido pela empresa Confer e seus dados foram fornecidos pela empresa Artecon, que cedeu o local para a confecção dos pavers. O pó de pedra foi utilizado no lugar da areia média. Este material é utilizado pela empresa na fabricação de pavers, lajotas, entre outros artefatos de cimento.

Suas características físicas, granulometria, índice de vazios, teor de material pulverulento e índice de matéria orgânica foram obtidos em ensaios laboratoriais.

A massa específica e o índice de absorção do material foram obtidos utilizando os métodos preconizados pela NBR 16916 (ABNT, 2021) e está listado na tabela 12.

Tabela 12 - Massa específica e absorção do pó de pedra basalto

Massa específica aparente	2,678 g/cm ³
Massa específica na condição SSS	2,655 g/cm ³
Massa específica	2,658 g/cm ³
Absorção	0,380 %

Fonte: autores (2021),

A granulometria do material foi obtida utilizando os métodos preconizados pela NBR NM 248 (ABNT, 2003) e está listado na tabela 13.

Tabela 13 - Granulometria do Pó de Pedra Britada Granítica

GRANULOMETRIA DO PÓ DE PEDRA BRITADA GRANÍTICA				
Peneiras		Material Retido		
(mm)	(pol.)	Peso (g)	% Retida	% Acumulada
9,50	3/8"	-	-	-
6,30	1/4"	8,70	0,57	0,57
4,80	4	19,80	1,29	1,86
2,40	8	136,20	8,88	10,7
1,20	16	233,10	15,20	25,95
0,60	30	240,20	15,67	41,61
0,30	50	233,70	15,24	56,85
0,15	100	431,70	28,16	85,01
Fundo		229,80	14,99	100,00
Total		1533,20		
Módulo de Finura			2,22	

Fonte: Nazário Engenharia e Consultoria (2021)

O índice de vazios do agregado graúdo foi obtido utilizando os métodos previstos na NBR 16972 (ABNT, 2021).

Tabela 14 - Índice de Vazios

Índice de vazios (%)	4,90 %
----------------------	--------

Fonte: autores (2021),

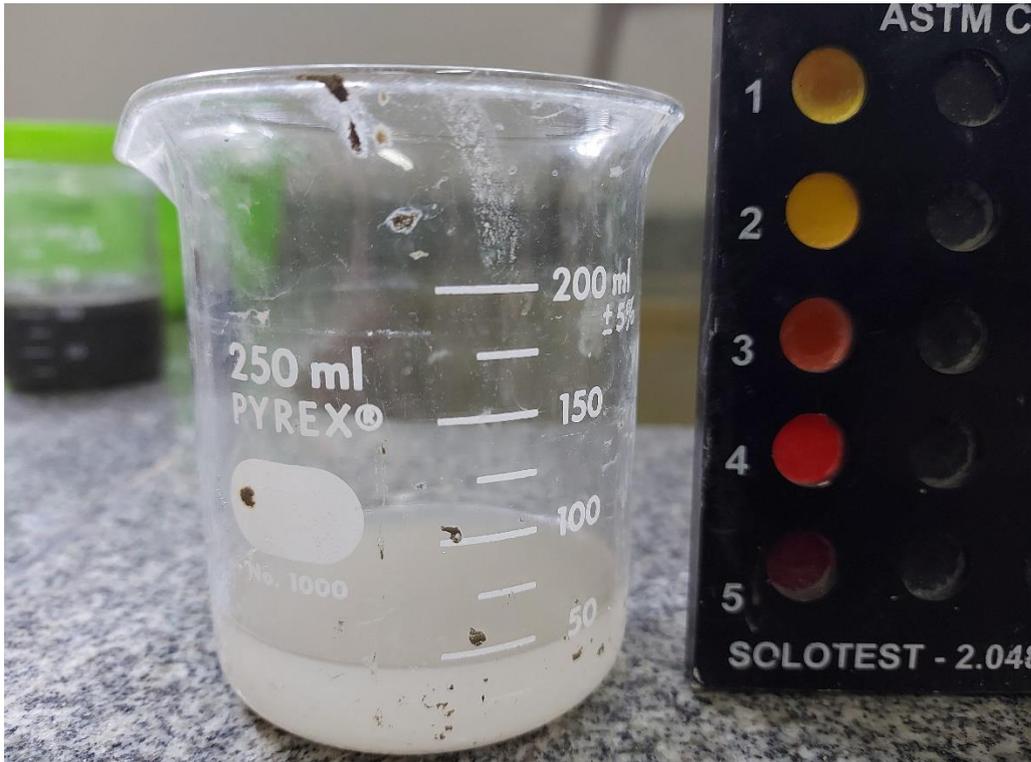
Para o índice de matéria orgânica foi realizado o ensaio seguindo os procedimentos descritos na NM 49 (ABNT, 2001).

Tabela 15 - Índice de matéria orgânica

Índice de matéria orgânica	< 300 ppm
----------------------------	-----------

Fonte: Autores (2021)

Figura 7 - Ensaio de índice de matéria orgânica



Fonte: Autores (2021)

Para que fosse encontrada a quantidade de material pulverulento nos materiais utilizados, seguiu-se a NBR 16973 (ABNT, 2021).

Tabela 16 - Teor de material pulverulento

Material pulverulento (%)	10,47 %
---------------------------	---------

Fonte: Autores (2021)

Figura 8 - Lavagem do agregado para retirada do material pulverulento



Fonte: Autores (2021)

3.2.2.3 Areia Fina

A areia fina utilizada é fornecida por uma empresa de Jaguaruna/SC e seus dados foram fornecidos pela empresa Artecon, que utiliza o material na fabricação de pavers, lajotas, entre outros artefatos de cimento e cedeu o local para confecção dos pavers.

Suas características físicas, granulometria, índice de vazios, teor de material pulverulento e índice de matéria orgânica foram obtidos em ensaios laboratoriais e listados abaixo.

A massa específica e o índice de absorção do material foram obtidos utilizando os métodos preconizados pela NBR 16916 (ABNT, 2021) e está listado na tabela 17.

Tabela 17 - Massa específica e absorção da areia fina

Massa específica aparente	2,636 g/cm ³
Massa específica na condição SSS	2,63 g/cm ³
Massa específica	2,646 g/cm ³
Absorção	0,230 %

Fonte: autores (2021),

A granulometria do material foi obtida utilizando os métodos preconizados pela NBR NM 248 (ABNT, 2003) e está listado na tabela 18.

Tabela 18 - Granulometria do agregado miúdo

GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO				
Peneiras		Material Retido		
(mm)	(pol.)	Peso (g)	% Retida	% Acumulada
9,50	3/8"	-	-	-
6,30	1/4"	-	-	-
4,80	4	-	-	-
2,40	8	-	-	-
1,20	16	1,00	0,07	0,07
0,60	30	4,50	0,30	0,36
0,30	50	267,80	17,57	17,93
0,15	100	1.222,40	80,18	98,11
Fundo		28,80	1,89	100,00
Total		1524,50		
Módulo de Finura			1,16	

Fonte: Nazário Engenharia e Consultoria (2021)

O índice de vazios do agregado miúdo foi obtido utilizando os métodos previstos na NBR 16972 (ABNT, 2021).

Tabela 19 - Índice de Vazios

Índice de vazios (%)	6,78 %
----------------------	--------

Fonte: Autores (2021)

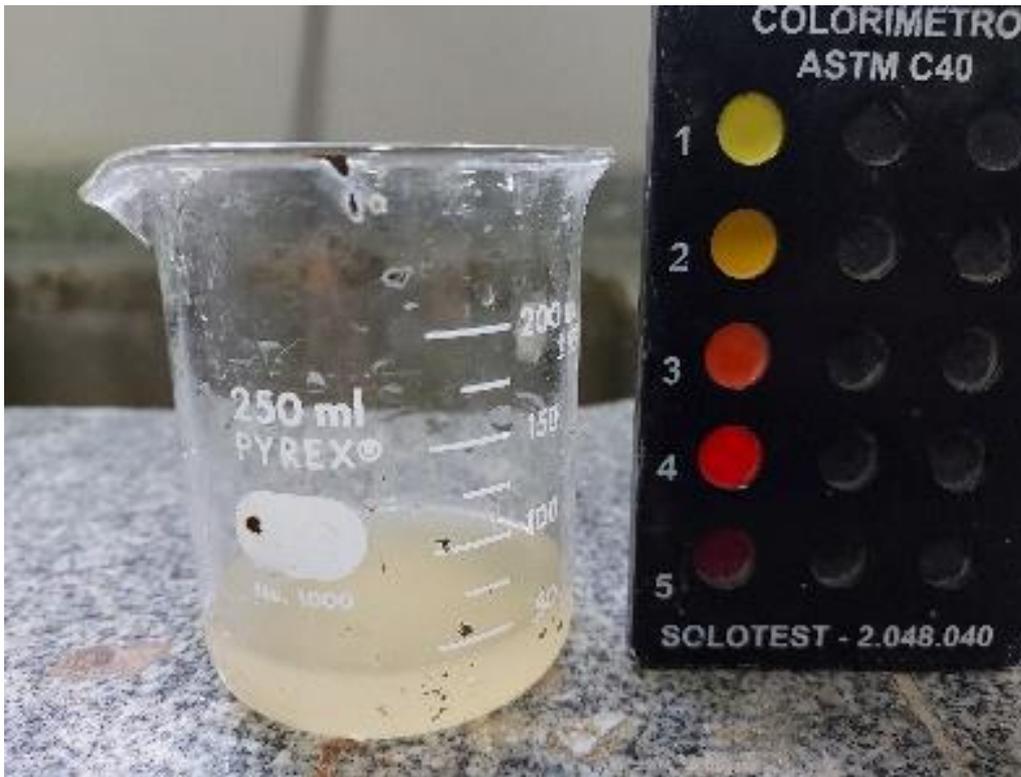
Para o índice de matéria orgânica foi realizado o ensaio seguindo os procedimentos descritos na NBR NM 49 (ABNT, 2001).

Tabela 20 - Índice de matéria orgânica

Índice de matéria orgânica	< 300 ppm
----------------------------	-----------

Fonte: Autores (2021)

Figura 9 - Ensaio de índice de matéria orgânica



Fonte: Autores (2021)

Para que fosse encontrada a quantidade de material pulverulento nos materiais utilizados, seguiu-se a NBR 16973 (ABNT, 2021).

Tabela 21 - Teor de material pulverulento

Material pulverulento (%)	1,48 %
---------------------------	--------

Fonte: Autores (2021)

Figura 10 - Lavagem do agregado para retirada do material pulverulento



Fonte: Autores (2021)

3.2.3 Resíduo cerâmico

O resíduo cerâmico utilizado neste estudo foi fornecido pela empresa Cejatel e seus dados foram retirados de ensaios feitos no laboratório de Engenharia Civil da Unisul.

O material é descartado pela empresa, sendo assim, foi observada uma chance de reaproveitamento do material na produção de artefatos de cimento, neste caso, na produção de pavers de concreto.

Não foi possível realizar os ensaios de teor de argila e índice de matéria orgânica devido ao material ser em sua maior parte argila.

Sua granulometria e índice de vazios foram obtidos em ensaios laboratoriais e listados abaixo.

Tabela 22 - Granulometria do Resíduo Cerâmico

GRANULOMETRIA DO RESÍDUO CERÂMICO				
Peneiras		Material Retido		
(mm)	(pol.)	Peso (g)	% Retida	% Acumulada
9,50	3/8"	-	-	-
6,30	1/4"	-	-	-
4,80	4	-	-	-
2,40	8	0,72	0,07	0,07
1,20	16	8,19	0,84	0,91
0,60	30	17,12	1,75	2,66
0,30	50	21,92	2,24	4,90
0,15	100	25,46	2,60	7,50
0,075	200	75,87	7,76	15,26
Fundo		845,21	86,48	100,00
Total		977,37		
Módulo de Finura			0,16	

Fonte: Autores (2021)

O índice de vazios do resíduo cerâmico foi obtido utilizando os métodos previstos na NBR 16972 (ABNT, 2021).

Tabela 23 - Índice de Vazios

Índice de vazios (%)	6,78 %
----------------------	--------

Fonte: Autores (2021),

Para realização dos ensaios para a obtenção da massa específica, seguiu-se a NBR 16916 (ABNT, 2021), que trata dos procedimentos para obtenção das densidades e absorção de água dos materiais utilizados.

Tabela 24 - Massa específica

Massa específica	2,56 g/cm ³
------------------	------------------------

Fonte: Autores (2021),

3.2.4 Água

A água utilizada na confecção dos pavers foi fornecida pela rede de abastecimento de água local da cidade de Jaguaruna/SC.

3.2.5 Aditivo

Nos traços aplicados nesta pesquisa foi utilizado o aditivo plastificante LIGA AIR CS em quantidade descrita em cada traço. Este aditivo é indicado para produção de artefatos de concreto, principalmente para peças produzidas com concreto seco ou semisseco e auxilia na redução de atrito entre as partículas, tendo boa atuação quando utilizado em equipamentos de extrusão e compactação.

Além das características presentes acima, esse aditivo também é livre de cloreto. Seus parâmetros serão apresentados a seguir na tabela 25.

Tabela 25 - Parâmetros do aditivo

Propriedade	Parâmetros	Unidade
Aspecto	Líquido Viscoso	-
Cor	Castanho Claro	-
Densidade	1,000 a 1,050	g/cm ³
pH	12,00 à 14,00	-
Viscosidade	150 a 300	mm ² /s

Fonte: Liga química industrial (2019)

3.3 DEFINIÇÃO DO TRAÇO

Nesta etapa foram definidos os traços a serem trabalhados para a produção dos pavers com resíduo cerâmico, sendo utilizado o método de adição volumétrica, baseando-se na quantidade de agregados empregados no traço base, levando em consideração as características dos demais agregados presentes no concreto convencional utilizado na fabricação dos pavers.

O traço proposto para este estudo tem como base a adição de diferentes porcentagens do resíduo cerâmico. Essa adição foi realizada em porcentagens de 5, 10, 15 e 20%, como demonstrado na tabela de traços utilizados abaixo.

Tabela 26 - Traços desenvolvidos para produção dos pavers

Traços desenvolvidos para produção					
Materiais	Porcentagem de substituição dos traços				
	0%	5%	10%	15%	20%
Cimento	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Pó de Pedra G.	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Pó de Pedra B.	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30
Areia Fina	1,70	1,40	1,10	0,90	0,90
Resíduo Cerâmico	-	0,30	0,60	0,90	1,20
Água	0,74	0,74	0,76	0,80	0,80
Aditivo	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Fonte: Autores (2021)

Devido à alta quantidade de finos presente na mistura do concreto, para que não ocorressem problemas durante confecção dos pavers, foi administrado um ajuste no fator A/C da mistura e também na quantidade de agregado miúdo no traço de 15 e 20%. Sendo assim, foi adicionada mais água e, conforme a quantidade de resíduo aumentava, consequentemente a quantidade de areia fina foi diminuída para que a quantidade de material total não sofresse alterações. Infelizmente, devido à quantidade de finos presente no material, o traço com 20% de adição sofreu problemas na sua produção; os pavers produzidos com esse traço não possuíam resistência inicial suficiente para que ocorresse a sua desforma no prazo estipulado de 24 horas. Devido a esse problema os testes dos pavers com 20% de adição não foram concluídos.

3.4 CONFECÇÃO DOS PAVERS

Após a definição do traço que seria utilizado para a produção dos pavers sem e com adição de resíduos cerâmicos, os traços foram levados à empresa Artecon, que disponibilizou

parte da sua produção para a confecção dos pavers. Durante o processo foram mostrados os passos seguidos, como funcionava a produção dentro da fábrica e, também, maneiras de introduzir o agregado de forma natural no processo de produção, a fim de que não houvesse interrupções para seu uso, caso a empresa optasse por utilizar o agregado de maneira fixa.

Durante todo o processo fomos acompanhados pelo responsável pela produção de pavers na fábrica e, durante a visita, foram mostrados os equipamentos utilizados, os quais serão descritos abaixo.

Os agregados a serem utilizados são separados em box e despejados de maneira automatizada e em quantidades previamente dosadas, que são controladas por um painel; neste painel também ocorre o controle da dosagem de cimento e água presentes na mistura e umidade do concreto. Em seguida, os agregados são despejados em uma esteira e levados diretamente para a central de concreto.

Figura 11- Box para armazenagem dos agregados



Fonte: Autores (2021)

Ao mesmo tempo que os materiais são levados pela esteira para a central de concreto, o cimento utilizado para a produção também é inserido no processo; este, por sua vez, fica em um local separado dos agregados. Neste local, o cimento é colocado em bag suspenso; abaixo deste bag se encontra o silo onde o cimento é despejado e feito o controle da quantidade de cimento que será utilizada na mistura.

Figura 12 - Inserção do Cimento pelo método de bag suspenso



Fonte: Autores (2021)

A água utilizada no processo também é armazenada de maneira que sempre esteja disponível para uso; ela é dosada diretamente no painel junto dos agregados e do cimento e inserida no processo de confecção do concreto por meio de mangueiras presentes na parte superior da central.

Figura 13 - Reservatório de água



Fonte: Autores (2021)

Após todo o processo de mistura dos agregados, cimento, água e aditivo, o concreto pronto é retirado da central por meio de esteiras que o levam para a armazenagem da prensa onde serão produzidos os materiais.

Figura 14 - Esteira de transporte do concreto



Fonte: Autores (2021)

A prensa utilizada pela empresa Artecon é da marca Franco e trabalha de forma automática, possuindo grande eficiência em sua produção e necessitando de pouca mão de obra. Esta vibro-prensa trabalha com uma esteira contínua, onde se insere placas que servem como base para o produto; quando a base chega nos moldes, o concreto já dosado é despejado e então o processo de vibração e prensagem se inicia.

Figura 15 - Prensa vibratória para fabricação de pavers



Fonte: Autores (2021)

Após esse processo finalizado, as peças continuam seu caminho para o final da esteira, onde recebem um jato de ar para que sejam retirados grãos que possam prejudicar o formato das peças. No final do processo as peças são empilhadas até uma quantidade máxima que não as afete e assim levadas para a cura, onde ficam por 24 horas para que depois seja feita sua retirada e em seguida sua paletização e estocagem. Ao lado da esteira também está presente uma balança para que possa ser pesado o paver e verificado se está com o peso dentro da média desejada.

Figura 16 - Processo final da produção



Fonte: Autores (2021)

Após empilhados, os pavers são transportados por empilhadeiras até o pátio da fábrica, onde são separados e classificados por lote de produção e uma lona é colocada sobre os pavers para proporcionar uma melhor cura das peças.

Figura 17 - Processo de estocagem dos pavers durante a cura



Fonte: Autores (2021)

3.4.1 Processo de produção dos pavers com resíduo cerâmico

Para a fabricação dos pavers com a adição de resíduo cerâmico foram seguidos os mesmos processos de fabricação do paver comum, como descrito acima. O resíduo cerâmico foi adicionado diretamente na central de dosagem, isso foi necessário devido à quantidade de material utilizado, para que não ocupasse um box que serviria posteriormente para agregados utilizados na produção de outros materiais.

Foram, então, utilizados baldes e pesados cada um com 15 kg de resíduo cerâmico, utilizando uma balança de precisão presente na fábrica.

Figura 18 - Recipientes com resíduo cerâmico



Fonte: Autores (2021)

Após a separação, o material foi levado até a central de concreto, onde foi inserido em 4 partes, cada parte referente à porcentagem de adição do resíduo presente nos traços anteriormente propostos. Sendo assim, foram inseridos na primeira produção 5% de resíduo cerâmico e, posteriormente, 10%, 15% e 20%.

Figura 19 - Local para adição do resíduo na mistura



Fonte: Autores (2021)

Os pavers, então, foram classificados e levados para o local de armazenagem para que recebessem o mesmo tratamento que os pavers comuns produzidos. Após 24 horas, foram feitas as coletas das peças e levadas para o laboratório de Engenharia Civil da Unisul, onde foram feitos os ensaios para sua caracterização e verificação de resistência e, finalmente, comparados com os resultados de pavers previamente feitos pela fábrica sem a adição de resíduos cerâmicos.

3.4.2 Caracterização dos pavers com adição de resíduos cerâmicos

Os pavers produzidos com adição do resíduo cerâmico foram coletados na fábrica após a cura inicial de 24 horas. Foram escolhidas 9 amostras de cada traço estudado de forma aleatória para que fossem levadas ao laboratório de Engenharia Civil da Unisul. Na universidade, os pavers passaram por uma cura de 7 dias até a aplicação dos ensaios de absorção e resistência à compressão preconizados pela NBR 9781 (ABNT, 2013).

Como solicitado na NBR 9781 (ABNT, 2013), foram retiradas as medidas dos pavers após 7 dias de cura; em seguida foram separadas 3 amostras de cada traço que seriam utilizadas para o ensaio de absorção; estas três amostras foram inseridas na estufa para sua completa secagem e, após o procedimento, as peças seriam pesadas e mergulhadas em água para a verificação do seu peso após 24 horas inertes em água. Assim poderia ser determinada sua porcentagem de absorção.

Figura 20 - Pavers inseridos na estufa para secagem



Fonte: Autores (2021)

Para o ensaio de resistência à compressão, como descrito na NBR 9781 (ABNT, 2013), foram escolhidas 6 amostras de pavers para cada traço estudado. Após a separação, as amostras tiveram suas medidas registradas e então foi aplicado o ensaio para que fossem retiradas suas tensões de ruptura e calculada sua resistência à compressão.

Figura 21 - Ensaio de resistência à compressão dos pavers



Fonte: Autores (2021)

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após a realização dos ensaios, obtivemos os resultados referentes às características necessárias para a verificação das dimensões, absorção e resistência à compressão dos pavers.

4.1 ANÁLISE DIMENSIONAL DOS PAVERS

Os resultados, obtidos na análise dimensional dos pavers, demonstraram que todas as amostras estudadas atendem as especificações da NBR 9781 (ABNT, 2013). Como demonstrado na tabela 26 abaixo, todas as medidas se enquadram na tolerância de ± 3 mm, se comparadas às medidas padrão para pavers dispostas na tabela 1.

Tabela 27 - Dimensões dos pavers estudados

Dimensões dos pavers													
Nº CP	% de adição	Comprimento (mm)				Largura (mm)				Espessura (mm)			
		0%	5%	10%	15%	0%	5%	10%	15%	0%	5%	10%	15%
1		198,9	200,7	198,5	199,9	98,5	102,3	98,9	100,1	60,5	59,9	60,7	58,4
2		199,3	200,5	200,1	199,1	99,3	100,2	100,3	101,0	61,1	59,8	58,9	59,2
3		199,9	201,0	200,9	201,3	98,57	101,2	101,3	100,3	60,1	59,6	60,6	59,6
4		199,7	199,3	200,2	199,2	99,5	100,3	100,7	99,2	58,2	59,3	59,5	58,6
5		199,6	199,8	200,3	201,5	99,8	100,7	99,5	99,7	62,7	58,9	59,2	59,4
6		198,9	200,2	199,4	200,5	98,5	99,7	99,8	100,2	58,7	58,7	60,1	59,2

Fonte: autores (2021),

4.2 ANÁLISE DO ENSAIO DE ABSORÇÃO DOS PAVERS

Os resultados, obtidos pelo ensaio de absorção dos pavers, demonstraram um aumento significativo na quantidade de água absorvida pelas peças com adição de resíduo cerâmico. Acredita-se que esse aumento se deve à propriedade do material cerâmico de absorver água, se comparado a outros agregados utilizados. Apesar deste aumento, a quantidade de água absorvida ainda está dentro do estipulado na NBR 9781 (ABNT, 2013), como descrito anteriormente.

Tabela 28 - Comparação dos resultados do ensaio de absorção

Absorção dos pavers													
N° CP	% de adição	Massa Seca (g)				Massa Saturada (g)				Absorção (%)			
		0%	5%	10%	15%	0%	5%	10%	15%	0%	5%	10%	15%
1		2575	2619	2663	2676	2655	2736	2793	2801	3,01	4,46	4,85	4,68
2		2650	2556	2593	2644	2730	2700	2732	2780	2,93	5,63	5,34	5,12
3		2575	2576	2644	2480	2660	2699	2768	2635	3,20	4,78	4,67	6,26

Fonte: autores (2021),

Tabela 29 - Absorção média dos pavers estudados

Absorção média dos pavers	
% de adição	Valores da absorção média (%)
0%	3,04
5%	4,96
10%	4,95
15%	5,35

Fonte: autores (2021),

4.3 ANÁLISE DA DENSIDADE DOS PAVERS

Todos os pavers, utilizados posteriormente para o ensaio de compressão, foram pesados para que fosse feita a comparação das densidades e da densidade média de cada traço. Os resultados obtidos mostraram que o resíduo cerâmico utilizado resultou em uma densidade média maior, quando comparados aos pavers sem adição. Acredita-se que a relação da incorporação do resíduo com o aumento da densidade deve-se ao aumento de material fino presente em cada peça. Esse material tem maior facilidade de ser compactado e ocupar vazios, aumentando a densidade das peças.

Tabela 30- Densidade de cada amostra estudada

Densidade dos pavers					
N° CP	% de adição	Densidade			
		0%	5%	10%	15%
1		2571,0	2780,62	2736,91	2541,84
2		2589,0	2557,56	2489,35	2600,93
3		2671,0	2714,24	2747,10	2692,64
4		2519,0	2698,35	2812,26	2608,53
5		2706,0	2702,20	2591,04	2656,68
6		2231,0	2637,08	2725,56	2660,73

Fonte: autores (2021),

Tabela 31 - Densidade média dos pavers estudados

Densidade média dos pavers	
% de adição	Valores da densidade média (g/cm ³)
0%	2547,83
5%	2681,67
10%	2683,71
15%	2626,89

Fonte: autores (2021),

4.4 ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS PAVERS

Os resultados relacionados à compressão foram os mais significativos. Quando analisados, os pavers com maior adição de resíduo cerâmico, principalmente com 10% e 15% de adição, mostraram uma diminuição na resistência à compressão. Esse fato deve-se à diminuição da areia fina presente na mistura. Essa diminuição ocorreu pela razão de que a quantidade de agregado utilizado durante a fabricação dos pavers não poderia ultrapassar uma quantidade predefinida no traço, sendo assim, foi retirada areia fina para que fosse possível a utilização do resíduo cerâmico. A resultante desta troca foi a presença de material fino em

excesso na mistura para produção das peças, resultando em uma massa com maior viscosidade, gerando uma tensão maior na mistura. Acredita-se que a utilização do aditivo plastificante foi de extrema importância para que as peças não sofressem mais com o aumento na quantidade de finos.

Apesar da redução na resistência à compressão das peças estudadas, a NBR 9781 (ABNT, 2013) prevê que as peças ensaiadas com 7 dias possuam 80% da resistência final com 28 dias. Sendo assim, os pavers produzidos com adição de resíduos cerâmicos, mesmo com uma resistência à compressão significativamente mais baixa, se comparados a peças sem adição do material, ainda se encontram nas exigências da NBR 9781 (ABNT, 2013).

Tabela 32 - Determinação da resistência à compressão dos pavers

Resistência à Compressão dos pavers											
Fator de Correção (p)	Área mm	Nº CP	% de adição	Tensão de ruptura ton				Resistência a compressão Mpa			
				0%	5%	10%	15%	0%	5%	10%	15%
				0,95	5674,50	1		20,19	22,77	21,05	18,98
0,95	5674,50	2		24,10	22,61	22,21	14,76	40,30	37,85	37,85	24,71
0,95	5674,50	3		22,72	21,14	23,03	17,07	38,03	35,39	38,55	28,57
0,95	5674,50	4		24,64	23,92	19,78	17,76	41,25	40,04	33,11	29,73
0,95	5674,50	5		23,43	24,14	20,26	20,50	39,22	40,41	33,91	34,32
0,95	5674,50	6		25,50	20,72	19,67	20,94	42,70	34,68	32,93	35,05

Fonte: autores (2021),

Tabela 33 - Resistência média à compressão axial dos pavers estudados

Resistência média à compressão axial (fp)	
% de adição	Valores da Resistência em MPA
0%	39,22
5%	37,75
10%	35,27
15%	30,69

Fonte: autores (2021),

Tabela 34 - Resistência característica à compressão dos pavers estudados

Resistência característica à compressão (f _{pk})	
% de adição	Valores da Resistência em MPA
0%	36,37
5%	35,59
10%	33,03
15%	27,14

Fonte: autores (2021),

5 CONCLUSÃO

Após a obtenção dos resultados provenientes dos ensaios aplicados nos pavers, observou-se que os resultados obtidos demonstram que a utilização do resíduo cerâmico nos traços de 5% e 10% apresentaram uma resistência à compressão aceitável e proporcionalmente equivalente à resistência do paver sem adição.

Embora os resultados das adições de 15% não tenham atingido o valor médio mínimo de 28 MPa como exigido na NBR 9781 (ABNT, 2013), chegando a apenas 27,14 MPa no ensaio de resistência à compressão característica, a resistência obtida com o traço de 10% de substituição foi de 33,03 MPa, estando dentro das exigências da normativa.

Apesar dos fatores descritos anteriormente, deve-se ressaltar que os ensaios de resistência à compressão foram feitos com peças que possuíam apenas 7 dias de idade, sendo assim, estudos utilizando amostras com maior tempo de cura devem ser feitos para que se comprove a eficácia das peças com adição de resíduos cerâmicos

Observou-se também que, apesar do aumento significativo na quantidade de água absorvida pelas peças com adição de resíduo cerâmico, esse fator não foi prejudicial para a resistência dos pavers, apesar de que estudos com uma idade maior das peças serem de extrema importância para a confirmação dos dados do ensaio de absorção.

Os pavers têm como vantagens sua fácil aplicação, podendo ser utilizados em diversos tipos de ambientes, como em calçadas públicas, residências e em locais com tráfego de veículos mais pesados. Além desses fatores, os pavers, em comparação com o asfalto, produto comumente utilizado para pavimentação, possui menor absorção de calor, gerando um melhor conforto térmico e sendo uma opção mais benéfica para locais com maior circulação de pedestres

Sendo assim, de acordo com as análises feitas anteriormente, a aplicação de resíduos cerâmicos como agregado adicional em peças para pavimentação é promissora, além de que o seu emprego em tais peças pode diminuir a quantidade de material descartado no meio ambiente e gerar uma produção mais econômica, viabilizando o custo do produto final e tornando-o mais atrativo para consumidores finais.

Portanto, é correto afirmar que a incorporação do resíduo cerâmico na fabricação dos pavers são viáveis. Porém, vale ressaltar que mesmo o melhor traço com 10% de adição não se iguala à resistência do paver produzido sem adição. Desta forma, o seu uso deve levar em consideração uma análise mais completa da logística e viabilidade econômica, pois mesmo que

o resíduo cerâmico seja descartado atualmente, um estudo deve ser feito analisando a quantidade disponível de material, visando uma maior utilização em grande escala.

Como sugestões para trabalhos futuros:

- Analisar o custo-benefício resultante da aplicação de resíduos cerâmicos na produção de pavers.
- Produzir traços visando um maior uso do resíduo cerâmico.
- Estudar a substituição do cimento utilizado na produção de pavers e lajotas por agregado de resíduo cerâmico.
- Verificar a possibilidade da utilização de resíduo cerâmico como agregado em diferentes produtos de artefatos de cimento.

6 REFERÊNCIAS

AMORIM, Luciana Viana et al. Reciclagem de rejeitos da construção civil para uso em argamassas de baixo custo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 2, p. 222-228, 1999.

ANGULO, Sérgio Cirelli. CARACTERIZAÇÃO DE AGREGADOS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO REICLADOS E A INFLUÊNCIA DE SUAS CARACTERÍSTICAS NO COMPORTAMENTO DE CONCRETOS. (2005).236 f. Tese (Doutorado em Construção civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655 - Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

_____. NBR 16916 - Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

_____. NBR 16972 - Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

_____. NBR 16973 - Agregados - Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 µm por lavagem. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

_____. NBR 6136 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

_____. NBR 9781 - Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. NBR 9935 - Agregados - Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

_____. NBR NM 49 - Agregado miúdo - Determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

_____. NBR NM 248 - Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**, v. 61, n. 358, p. 178-189, 2015.

COELHO, P.E.; CHAVES A.P. Reciclagem de entulho - Uma opção de negócio potencialmente lucrativa e ambientalmente simpática. **Areia e Brita**, São Paulo, v. 2, n. 5, p. 31-35, 1998.

MEDEIROS, Jonas Silvestre; SABBATINI, Fernando Henrique. Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto. **São Paulo**, p. 31-34, 1993.

MEGIER, Marcele Buch et al. Análise comparativa de pavimento asfáltico, pavimento em alvenaria poliédrica e pavimento intertravado em bloco de concreto. **Salão do Conhecimento**, 2018.

MEHTA, P.K. & MONTEIRO, P.J.M. Concrete: microstructure, properties, and materials. New York: McGraw-Hill. 2014

PASSOS, L.; MORENO JUNIOR, A. L.; GOMES, C. E. M. revista Matéria, v.25, n.2, 2020

PESTANA, Eloi Heleno Assunção et al. A Alvenaria Estrutural e seu desenvolvimento histórico: materiais e sistemas estruturais. IFMA - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, São Luís, Maranhão, 2014.

SANTOS, G.M. Estudo do comportamento térmico de um forno túnel aplicado à indústria de cerâmica vermelha. 2001. 135p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

SEBRAE/ESPM. Cerâmica Vermelha. Estudos de Mercado SEBRAE/ESPM – Relatório Completo. Sebrae Nacional, São Paulo, 2008.

SEFFF, L.; FOLGUERAS, M. V.; HOTZA, D. Hidratação do cimento CP V ARI-RS: Influência da água nas reações de hidratação. In: **Congresso brasileiro de cerâmica**. 2005. p. 1-12

SESMA, Natália Maia. Estudo das propriedades de uma cerâmica vermelha sinterizada em diferentes temperaturas. 2014. 60 f. Monografia (Trabalho de Graduação em Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, Ano 2014.

SHIMADA, Helio. **Impacto da prospecção geológica na otimização do processo de produção de cimento Portland na fábrica de cimento Votoran, Votorantim, SP**. 1999. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

TANGO, C. E. S. Blocos de Concreto: produção, dosagem e controle de qualidade. **A Construção**, n. 1890, p. 11-18, 1984.

TONON, Beatriz Frasão; FIORITI, Cesar Fabiano; AKASAKI, Jorge Luís. ANÁLISE TEÓRICA DAS CARACTERÍSTICAS DA ESTRUTURA DO PAVIMENTO INTERTRAVADO DE CONCRETO. **DOSAGENS DE CONCRETO PARA PAVERS UTILIZÁVEIS EM PAVIMENTAÇÃO**, p. 223.

TUTIKIAN, Bernardo F.; HELENE, Paulo. Dosagem dos concretos de cimento Portland. 2011.